

Melhoria no processo de fabrico de apoios amortecedores em borracha-metal

Diogo Mateus Preto

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Professora Teresa Margarida Guerra Pereira Duarte

Orientador na Flexocol: Engenheiro Américo Jorge dos Santos Faria



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

06-2018

“Nunca tenha a certeza de nada, porque a sabedoria começa com a dúvida”

Sigmund Freud

Resumo

A presente dissertação descreve um projeto de melhoria do processo produtivo de apoios amortecedores, para o mercado de reposição da indústria automóvel. Este projeto, desenvolvido em ambiente industrial, insere-se no último ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica.

O projeto foi desenvolvido na Flexocol - Fábrica de Artefactos de Borracha, do grupo Monteiro, Ribas Indústrias S.A, e teve como objetivo a análise do processo produtivo de um grupo de peças, que apresentavam um reduzido nível de qualidade e que resultavam numa elevada quantidade de peças não conforme.

Numa primeira fase foi analisado o processo de fabrico, medindo-se a taxa de não conformidade verificada nas peças, e, por fim, identificaram-se as causas principais dos problemas.

Numa segunda fase foi delineado um plano de ações, bem como um conjunto de melhorias a implementar no processo de fabrico e no posto de trabalho.

As melhorias passaram pela implementação de um novo procedimento para controlo de qualidade, reorganização dos componentes metálicas a incorporar nas peças finais, alteração dos parâmetros de vulcanização como temperatura e tempo de vulcanização e, por fim, ainda foi feito um estudo de previsão de retorno financeiro com a aquisição de um equipamento de remoção de rebarba, nos componentes metálicos fabricados.

Face à redução da taxa de peças não conforme, permite considerar que o projeto foi um sucesso, tendo sido atingidos os objetivos da dissertação.

Palavras Chave: Indústria da borracha, suspensão do motor, NR, melhoria contínua, vulcanização, ensaio mecânico, produtividade.

Abstract

The present dissertation describes a project to improve the production process of vibration mountings for the aftermarket of the automobile industry. This project, developed in an industrial environment, is part of the last year of the Integrated Master in Mechanical Engineering.

The project was developed at Flexocol – Fábrica de Artefactos de Borracha, from Monteiro, Ribas Indústrias SA group, and had the objective of analysing the production process of a group of pieces, which presented a low level of quality and resulted in a high quantity of non-conforming parts.

In a first phase, the manufacturing process was analysed, measuring the nonconformity rate verified in the parts, and, finally, the main causes of the problems were identified.

A second phase outlined an action plan, as well as a set of improvements to be implemented in the manufacturing process and in the workplace.

The improvements included the implementation of a new procedure for quality control, reorganization of the metallic components to be incorporated in the final pieces, alteration of vulcanization parameters such as temperature and vulcanization time, and, finally, a financial return prediction study with the acquisition of a burr removal equipment, in the metal components manufactured.

Considering the reduction of the non-conforming part rate, it allows to consider that the project was a success, having reached the objectives of the dissertation.

Keywords: Rubber industry, NR, engine suspension, continuous improvement, vulcanization, mechanical testing, productivity.

Agradecimentos

Antes de mais, os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de uma forma ou de outra, tornaram possível a realização deste projeto.

Gostaria de agradecer a todas as pessoas da Flexocol – Fábrica de Artefactos de Borracha, que me apoiaram e ensinaram nos últimos meses, e que foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional.

À minha orientadora na Faculdade, Professora e Engenheira Teresa Duarte, pela confiança em mim depositada, bem como pela sua disponibilidade e orientação contínua que facilitou o sucesso deste projeto.

Ao Engenheiro Jorge Faria, a quem coube a orientação na Flexocol, que me apoiou e aconselhou na construção e implementação das melhorias apresentadas nesta tese.

Ao Engenheiro Almiro Monteiro e à Engenheira Teresa Ribeiro da Flexocol, pelas críticas construtivas e pela partilha de conhecimento nas mais diversas áreas.

Ao Professor Fernão Magalhães do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pela disponibilidade e ensinamentos prestados.

À Teresa Ramos do serviço de documentação e informação da biblioteca da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pela orientação na revisão bibliográfica.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto por todos os ensinamentos fornecidos.

A todos os meus amigos que acreditaram neste projeto e me aconselharam na construção deste projeto académico e profissional.

À minha família, pois nela sustento toda a minha formação, obrigado pela confiança depositada e por sempre acreditarem no meu trabalho.

A todos eles, o meu mais profundo agradecimento.

Índice de Conteúdos

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	ENQUADRAMENTO DO PROJETO E MOTIVAÇÃO	1
1.2	INDÚSTRIA DA BORRACHA	1
1.3	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	2
1.4	OBJETIVOS	3
1.5	METODOLOGIA	4
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
2	ESTADO DA ARTE	5
2.1	BORRACHA - CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA	5
2.2	A VULCANIZAÇÃO	6
2.2.1	Parâmetros de vulcanização.....	7
2.2.2	Ligações Cruzadas	8
2.2.3	Aditivos usados no fabrico da borracha.....	9
2.3	TESTES DE CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO	10
2.3.1	Ensaio reométrico	11
2.3.2	Dureza	13
2.3.3	Determinação de deformação em compressão	14
2.4	PRINCIPAIS BORRACHAS.....	15
2.4.1	A borracha natural - NR	17
3	DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO NA FLEXOCOL.....	19
3.1	PREPARAÇÃO DE PARTES METÁLICAS	22
3.2	PREPARAÇÃO DO COMPOSTO DE BORRACHA	23
3.2.1	Pesagem de minoritários.....	23
3.2.2	Pesagem dos maioritários	23
3.2.3	Mistura.....	24
3.3	1º CONTROLO DE QUALIDADE	25
3.3.1	Ensaio reométrico	25
3.3.2	Medição de dureza Shore A.....	26
3.4	VULCANIZAÇÃO.....	27
3.5	2º CONTROLO DE QUALIDADE	29
3.5.1	Ensaio mecânico	29
3.6	ACABAMENTO.....	30
3.7	EMBALAMENTO E ARMAZENAMENTO	30
4	ANÁLISE AO ESTADO ATUAL DE QUALIDADE.....	32
4.1	INTRODUÇÃO	32
4.2	CONTROLO POR ENSAIO MECÂNICO.....	32
4.2.1	Procedimento do ensaio mecânico.....	33
4.2.2	Critério para controlo de qualidade das peças	33
4.2.3	Considerações prévias à análise do ensaio mecânico	34
4.3	FASE I – ESTADO ATUAL DO PROCESSO.....	35
4.3.1	Conclusões Fase I	39
4.3.2	Ações a tomar	40
5	MELHORIAS IMPLEMENTADAS NO PROCESSO DE FABRICO.....	41
5.1	ORGANIZAÇÃO DAS PARTES METÁLICAS A INCORPORAR NOS APOIOS AMORTECEDORES	41
5.2	ELABORAÇÃO DE DOCUMENTOS TÉCNICOS DE FABRICO.....	42
5.3	MELHORIA DO PROCESSO DE FABRICO – PARTES METÁLICAS	43
5.4	ALTERAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE CONTROLO DE QUALIDADE	46
5.5	MELHORIA NO CONTROLO DE PARÂMETRO DE VULCANIZAÇÃO.....	49
6	TRABALHO EXPERIMENTAL	50
6.1	INTRODUÇÃO	50
6.2	FASE II – ALTERAÇÃO INICIAL NOS PARÂMETROS DE VULCANIZAÇÃO	50

6.2.1	Conclusões Fase II.....	53
6.2.2	Ações a tomar	53
6.3	FASE III – ALTERAÇÃO SUBSTANCIAL DOS PARÂMETROS DE VULCANIZAÇÃO	53
6.3.1	Conclusões FASE III	56
6.3.2	Ações a tomar	57
6.4	FASE IV – AFINAÇÃO DO PROCESSO E ESTUDO DE PRODUTIVIDADE.....	57
6.4.1	Análise peça AP-1012.....	57
6.4.2	Análise peça AP-0112.....	59
6.4.3	Análise peça AP-2213	61
6.5	ANÁLISE À PRODUTIVIDADE ESPERADA	63
6.6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	64
7	CONCLUSÕES.....	65
7.1	TRABALHOS FUTUROS	66
	REFERÊNCIAS	67
	ANEXO A: LAYOUT DA FLEXOCOL	70
	ANEXO B: ORDEM DE FABRICO – OF FLEXOCOL.....	71
	ANEXO C: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE PM EM ESTANTE – SERRALHARIA	72
	ANEXO D: DOCUMENTOS TÉCNICOS DE FABRICO - SERRALHARIA	73
D1	DOCUMENTO TÉCNICO DE FABRICO AP-1012	73
D2	DOCUMENTO TÉCNICO DE FABRICO AP-0112	74
D3	DOCUMENTO TÉCNICO DE FABRICO AP-2213	75

Siglas & Abreviaturas

CR	Policloropreno
EPDM	Etileno-propileno
FKM	Víton
IIR	Borracha butílica
NBR	Borracha nitrílica
NR	Borracha natural
SBR	Estireno-butadieno
AP-1012	Apoio Amortecedor 180 223 10 12
AP-0112	Apoio Amortecedor 615 223 01 12
AP-2213	Apoio Amortecedor 107 241 22 13
C	Conforme
ERP	Enterprise Resource Planning
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSE	Limite Superior de Especificação
NC	Não Conforme
OF	Ordem de Fabrico
PM	Parte Metálica

Índice de Figuras

Figura 1 - Países produtores de borracha natural, exceto Bolívia [4].	2
Figura 2 - Instalação fabril da Flexocol (2011) [7].	2
Figura 3 - As 3 famílias de produtos fabricados na Flexocol [8].	3
Figura 4 - 1ª Máquina de mastigação de borracha [12].	6
Figura 5 - Reticulação verificada no processo de vulcanização [20].	7
Figura 6 - Evolução do arranjo molecular da borracha vulcanizada, quando sujeita a deformação [15].	9
Figura 7 - Reómetro de disco oscilante – Rheocheck Profile [27].	11
Figura 8 - Curva reométrica típica [19].	12
Figura 9 - Curva típica de uma análise reométrica de disco oscilante para uma NR, adaptado de [29].	12
Figura 10 - Esquema das agulhas shore D e shore A [28].	13
Figura 11 - Escala Shore A vs. Shore D, adaptada de [30].	14
Figura 12 - Representação da curva tensão-deformação para a borracha [15].	14
Figura 13 - Resistência ao calor e aos óleos das principais borrachas [34].	17
Figura 14 - Estrutura química da borracha natural [35].	17
Figura 15 - Ilustração dos apoios amortecedores em estudo, Flexocol 2018.	19
Figura 16 - Montagem de apoio amortecedor em Mercedes Benz R107 [37].	19
Figura 17 - Modelos Mercedes-Benz® equipados com alguns dos apoios amortecedores em estudo.	20
Figura 18 - Representação do processo de fabrico dos apoios amortecedores.	21
Figura 19 - Exemplificação das necessidades materiais, para obtenção de um apoio amortecedor.	21
Figura 20 - Algumas operações de preparação de partes metálicas, Flexocol 2018.	22
Figura 21 - Exemplo dos maioritários adicionados à preparação da borracha, Flexocol 2018.	24
Figura 22 - Representação do sentido de rotação dos cilindros [15].	24
Figura 23 - Processo de preparação do composto, Flexocol 2018.	25
Figura 24 - Remessa de Borracha, Flexocol 2018.	25
Figura 25 - Fases principais do controlo de qualidade: ensaio reométrico, Flexocol 2018.	26
Figura 26 - Fases principais do controlo de qualidade - dureza Shore A.	26
Figura 27 - Etiqueta identificadora de remessa de borracha, NR 60 - Shore A.	27
Figura 28 - Ilustração do resultado obtido do processo: vulcanização por compressão, Flexocol 2018.	29
Figura 29 - Cestos para peças NC (cesto vermelho) e para ensaio mecânico (cesto verde), Flexocol 2018.	29
Figura 30 - Processo de ensaio mecânico dos apoios amortecedores, Flexocol 2018.	30

Figura 31 - Processo de acabamento (antes e depois).	30
Figura 32 - Palete com várias caixas prontas.	31
Figura 33 - Equipamento de ensaios mecânicos: MultiTest 50 – xt.....	32
Figura 34 - Peça com e sem carga, durante ensaio mecânico.....	33
Figura 35 - Resultados dos ensaios, FASE I (Parte 1).	36
Figura 36 - Resultados dos ensaios, FASE I (Parte 2).	37
Figura 37 - Corte transversal de uma peça AP-2213.....	38
Figura 38 - Reorganização de partes metálicas na estante da Serralharia.	42
Figura 39 - Distribuição média dos tempos de processo nas partes metálicas.....	43
Figura 40 - Equipamento manual para lixar peças de grande dimensão [43].....	44
Figura 41 - Procedimento para controlo de qualidade das remessas de borracha.	48
Figura 42 - Renovação prensa hidráulica com termostato PID e temporizador.	49
Figura 43 - Resultados dos ensaios, FASE II.	51
Figura 44 - Resultados dos ensaios, FASE III.....	55
Figura 45 - Ensaio Preliminar AP-0112, Fase IV.....	58
Figura 46 - Ensaio Experimental AP-1012, Fase IV.....	58
Figura 47 - Ensaio Preliminar AP-0112, Fase IV.....	60
Figura 48 - Ensaio Experimental AP-0112, Fase IV.....	60
Figura 49 - Ensaio preliminar AP-2213, Fase IV.....	61
Figura 50 - Ensaio Experimental AP-2213, Fase IV.....	62

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Parâmetros de cura obtidos da curva reométrica.....	13
Tabela 2 - Designação das principais borrachas [25].	15
Tabela 3 - Principais propriedades mecânicas da borracha natural [37].	18
Tabela 4 - Formulação base da liga NR – Dureza 60 Shore A.....	23
Tabela 5 - Especificação técnica do equipamento de ensaios.	32
Tabela 6 - Especificação do cliente - Ensaios Mecânicos.	34
Tabela 7 - Parâmetros de vulcanização - Fase I.	35
Tabela 8 - Tabela resumo com a percentagem de peças NC, Fase I.	39
Tabela 9 - Soluções encontradas no mercado para remoção de rebarba [43].	44
Tabela 10 - Cálculo de percentagem do acabamento passível de sofrer renovação.	45
Tabela 11 - Cálculo do número de horas de acabamento manual.	46
Tabela 12 - Cálculo do retorno esperado do investimento.	46
Tabela 13 - Parâmetros de vulcanização - Fase II.	50
Tabela 14 - Comparação percentual das peças NC na Fase I e II.	52
Tabela 15 - Parâmetros de vulcanização - Fase III.	53
Tabela 16 - Comparação percentual das peças NC na Fase I, II e III.	56
Tabela 17 - Parâmetros de vulcanização propostos AP-1012, Fase IV.....	59
Tabela 18 - Parâmetros de vulcanização propostos AP-0112, Fase IV.....	61
Tabela 19 - Parâmetros de vulcanização propostos AP-2213, Fase IV.....	63
Tabela 20 - Resumo dos parâmetros de processo de fabrico FASE III e Fase IV.....	63
Tabela 21 - Análise da evolução da produtividade com as alterações propostas na FASE IV.....	63

1 Introdução

O presente trabalho foi desenvolvido em ambiente industrial, na empresa Flexocol – Fábrica de Artefactos de Borracha Lda, sediada em Matosinhos, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica – especialização de Produção, Conceção e Fabrico – da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Este projeto foi desenvolvido com vista à melhoria da eficiência do processo de fabrico de amortecedores, promovendo uma melhoria de qualidade e de organização na gestão da produção.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

A globalização do mercado trouxe consigo uma competitividade crescente entre empresas do mesmo setor. Fruto da competitividade e do desenvolvimento tecnológico experienciados atualmente, as organizações reorganizam-se para prosperarem num clima marcado pela entrada de clientes e pelo aumento do preço das principais matérias primas.

O tema deste projeto prende-se com a necessidade corrente da melhoria do processo de fabrico, no qual existem variadíssimas fontes de ineficiência, que se traduzem em perdas de qualidade e produtividade. Será dado maior detalhe no estudo do processo de fabrico de apoios amortecedores, uma vez que se perspetiva um aumento de faturação destes artigos no futuro.

A empresa encontra-se num processo de reorganização, com a entrada de novos clientes e de produtos de maior rigor técnico e normativo. Urge a necessidade em detetar as causas de ineficiência do processo de fabrico, uma vez que a reduzida qualidade em determinados artigos, é causador de prazos de entrega mais longos e de um custo industrial mais elevado.

Este projeto visa melhorar o processo, recorrendo-se a análises de ensaios experimentais e a uma filosofia de melhoria contínua na gestão da produção.

1.2 Indústria da borracha

A indústria da borracha é indiscutivelmente parte da identidade da civilização atual. A borracha é um material de inúmeras utilizações, presente na indústria do papel, automóvel, mineira, construção civil, elétrica, entre muitas outras. É um material de características ímpares para o fabrico de elementos amortecedores para a automóveis, comboios, edifícios e máquinas industriais.

Atualmente, mais de 75% do consumo de borracha nos Estados Unidos é sintética, enquanto que no mundo a média consumida ronda os 65%. Quanto à borracha natural, a maioria da sua produção (75%) é canalizada para o fabrico de pneus para a indústria automóvel [1].

A procura mundial de borracha (natural e sintética) quase duplicou nos últimos quinze anos. Devido às melhores propriedades, a borracha natural é responsável por cerca de metade do consumo de borracha, resultado da fabricação de pneus para a indústria automóvel [2].

Perspetiva-se uma diminuição gradual do custo da borracha natural durante os próximos 10 anos, facto que se deve sobretudo à queda do preço do petróleo, e à diminuição do custo da borracha sintética [3].

Os cinco principais consumidores de borracha natural no mundo são a: China, Europa, Índia, USA e Japão. Os principais exportadores, cerca de 85% da produção mundial, encontram-se no sudeste Asiático: Tailândia, Indonésia, Vietnã, Malásia e China [2].

Na figura 1 apresenta-se um planisfério da superfície terrestre, com a representação das zonas de maior produção de borracha natural

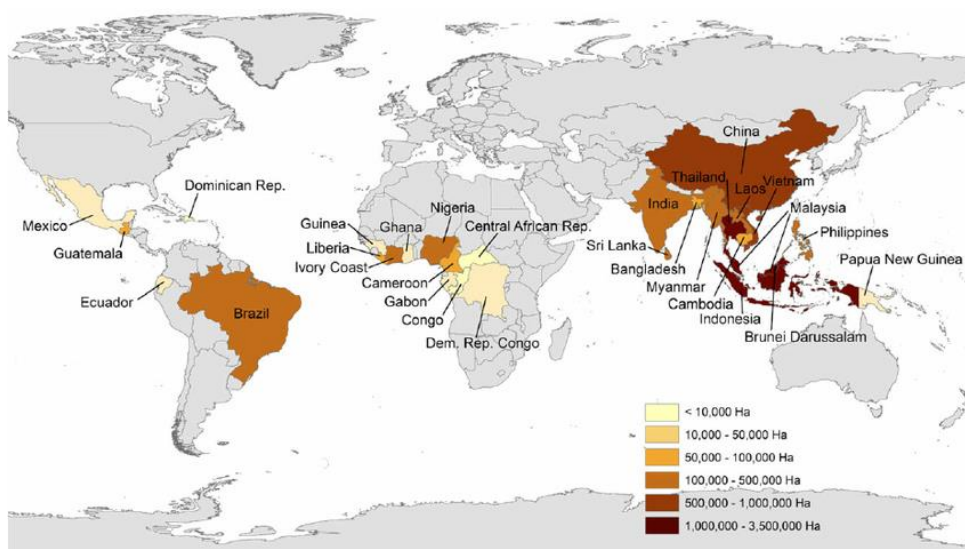


Figura 1 - Países produtores de borracha natural, exceto Bolívia [4].

A crise mundial dos últimos anos levou a uma reestruturação das indústrias de borracha em Portugal, traduzindo-se numa seleção natural onde as indústrias que prevaleceram e prosperaram devem-no aos diversos investimento e à qualificação contínua dos quadros [5].

A ameaça de fornecedores em países terceiros, as eventuais barreiras alfandegárias provocadas pelo *Brexit*, o protecionismo dos Estados Unidos, e o aumento do custo das matérias primas traz à indústria da borracha de Portugal um meio muito competitivo entre as suas congéneres, dispersas pela Europa [5].

A competitividade atualmente experienciada no setor da borracha, exige à indústria uma cuidada renovação do parque de máquinas, um investimento crucial na formação dos técnicos e uma aposta por processos de fabrico mais eficientes.

Por outro lado, o posicionamento competitivo singular que combina preço, qualidade, complexidade, inovação, extensão da cadeia de valor e proximidade, tem salvaguardo a indústria portuguesa da substituição por importações de baixo-preço provenientes, em particular, da China [6].

1.3 Apresentação da empresa

A empresa Flexocol – Fábrica de Artefactos de Borracha Lda, representada na figura 2, (daqui em diante designada Flexocol) foi fundada pelo Sr. Joaquim Torres em 1961. Inicialmente dedicada ao fabrico de peças em borracha para a indústria do calçado, indústria automóvel, construção civil e ferroviária [7].



Figura 2 - Instalação fabril da Flexocol (2011) [7].

Mais tarde, em 1973, a Flexocol é agregada a um grupo de referência nacional no setor de curtumes e de solas em borracha, o grupo Monteiro Ribas Indústrias S.A.

As instalações da Flexocol encontram-se em Leça do Balio, concelho de Matosinhos, tendo a mesma implementado a norma ISO 9001:2008 “*Sistemas de gestão da qualidade*” desde 2013. A sua longa existência traduz-se nos mais de 9000 moldes que possui, para peças vulcanizadas por compressão.

Atualmente, a Flexocol é especializada no fabrico de peças técnicas em borracha, produzidas por vulcanização. É uma empresa vocacionada igualmente para o fabrico de peças moldadas com ligação borracha-metal, extrusão de perfis e recuperação de rolos e rodas.

Na figura 3 pode ver-se as três famílias de produtos fabricados na Flexocol.



Figura 3 - As 3 famílias de produtos fabricados na Flexocol [8].

As principais matérias-primas utilizadas são: borracha natural (NR), e borrachas sintéticas como: estireno-butadieno (SBR), nitrílica (NBR), policloropreno (CR), etileno-propileno (EPDM), butílica (IIR), víton (FKM), silicone (Si) e poliuretano (PU), podendo em certos casos, combinar-se estes polímeros com metais ou têxteis (fibras).

A empresa está sobretudo direcionada para o mercado de reposição na indústria ferroviária e automóvel, contando com vários clientes em Espanha, França, Alemanha, República Checa e Peru.

A Flexocol está provida de meios que respondem às mais variadas solicitações do mercado, numa integração vertical do processo, incluindo conceção e fabrico de ferramentas, desenvolvimento de formulações e produção de misturas usando os polímeros mais adequados [7].

É de realçar a flexibilidade que sempre caracterizou esta empresa, visível na sua afirmação no mercado, dando resposta a encomendas “à medida” do cliente e adaptando os seus recursos e capacidade à produção de pequenas séries.

1.4 Objetivos

Este projeto tem como objetivos principais:

- Estudo do processo de fabrico de apoios amortecedores e características essenciais ao controlo de qualidade;

- Implementação de metodologias e ferramentas de qualidade para apoio ao planeamento e controlo da produção;
- Aumento da produtividade e qualidade no fabrico de apoios amortecedores;

1.5 Metodologia

Numa primeira fase foi necessário conhecer a empresa e suas preocupações principais no fabrico de peças. Para tal, e após discussão com o responsável de produção da empresa, destacou-se a importância de analisar e estabilizar o processo de fabrico de apoios amortecedores, uma vez que existia um reduzido nível de qualidade, traduzido pela elevada quantidade de peças não conforme.

O passo seguinte passou por uma adaptação ao setor fabril, acompanhando o processo de fabrico dos apoios amortecedores, analisando em paralelo a organização e planeamento da produção.

Em seguida, houve uma fase de pesquisa bibliográfica, com o intuito de assimilar os conceitos base, inerentes ao processo de fabrico e ao controlo de qualidade das peças.

Posteriormente, analisando-se a influência das variáveis críticas no processo, foram propostas alterações no processo, avaliando-se o impacto das mesmas. Durante o desenvolvimento deste projeto foram realizados vários ensaios com o intuito de encontrar uma forma de melhorar a qualidade dos processos produtivos, minimizando o desperdício.

Em suma, a metodologia seguida neste projeto foi a pesquisa-ação, no sentido em que a presença diária no setor de produção, e a interação com as chefias, técnicos e operadores foi essencial para o entendimento de falhas e fontes de ineficácia do processo. A pesquisa-ação distingue-se de outras metodologias no sentido em que se foca na ação e no incentivo à mudança na organização [9].

1.6 Estrutura da dissertação

O presente documento está estruturado em 6 capítulos.

No primeiro capítulo encontra-se a contextualização do projeto na empresa, apresentando-se resumidamente o projeto e objetivos esperados.

No segundo capítulo efetua-se o enquadramento teórico dos conceitos fundamentais envolvidos no projeto.

No terceiro capítulo faz-se uma abordagem ao processo produtivo dos apoios amortecedores.

No quarto capítulo apresentam-se as melhorias a implementar no processo de fabrico.

Posteriormente, o quinto capítulo apresenta os ensaios experimentais e seus resultados.

O sexto e último capítulo resume as conclusões encontradas para a melhoria da qualidade e produtividade dos apoios amortecedores, sendo também apresentados possíveis trabalhos/testes futuros.

2 Estado da arte

Neste capítulo serão apresentados os temas sobre os quais se fundamenta este projeto. Os temas explanados concorrem, com o intuito de contextualizar o produto em estudo.

2.1 Borracha - contextualização histórica

Até ao descobrimento da América, a borracha era um material desconhecido para o povo Europeu. Existem artigos encontrados na região da América do Sul que datam de 2000 anos atrás, onde os nativos da altura, Astecas e Maias, usavam o látex extraído de plantas, para revestir roupas e calçado, usando-o também para construir vasilhames flexíveis e bolas de borracha [10].

Escavações em Snaketown, no sul dos Estados Unidos, indicam que, à cerca de 600-900 AC, o rei Asteca, Montezuma, recebeu na forma de tributo da tribo, um total de 16000 bolas em borracha [11].

Uma outra fonte, corrobora o uso da borracha vários séculos antes da sua descoberta, onde escavações indicam o uso de borracha em cerimónias religiosas por volta do séc.VI, A.C [12].

Apesar da natividade da árvore da borracha tanto na região africana como no extremo oriente, não existem registos sobre a borracha antes da descoberta da América, por Cristóvão Colombo (1493-1496). Durante a sua segunda viagem, Colombo verificou que os indígenas do Haiti jogavam com uma “resina elástica” em forma de bola [12].

Cristóvão Colombo, navegador e explorador de origem Italiana, foi o responsável por liderar a frota sob as ordens dos Reis Católicos Espanhóis. A descoberta do continente Americano (1492) propiciou uma série de acontecimentos que alteraram o rumo da civilização Europeia com a expansão, conquista e colonização de povos no continente Americano.

No regresso a Espanha, Cristóvão Colombo trouxe consigo algumas bolas da Índia Ocidental. Após observação por parte dos cientistas espanhóis, a surpresa ficou marcada pelas características nunca antes vistas num objeto semelhante, uma vez que as bolas tradicionais de couro, conhecidas na Europa, em nada se comparavam com a forma como as bolas da ilha Americana saltavam [13].

De referir que os espanhóis conheciam a propriedade de impermeabilização de roupas que a borracha conferia, contudo, não constam registos acerca dos esforços para a introdução deste processo na Europa [12].

Alguns anos mais tarde, explorações levadas a cabo por dois franceses (C.M de La Condamine e de C.F Fresnau) entre 1736 e 1744, percorrendo uma vasta área na América do Sul, de Quioto ao Peru, guiando-se por afluentes do rio Amazonas, resultou na descoberta de vários tipos de árvores que possibilitavam a obtenção de látex, após efetuar uma pequena incisão no caule. A uma das variedades descobertas por Fresnau nas Guinas, foi dado o nome de “*Hevea Guianensis*” e a planta nativa do Brasil foi designada por “*Hevea Brasiliensis*” [14].

No regresso à capital francesa (1745), La Condamine traz consigo uma amostra de látex recolhido na expedição, despertando o interesse de um engenheiro francês, François Fresnau. O engenheiro inicia uma investigação em torno deste novo material, durante um período de 25 anos, elaborando diversos artigos relacionados com o látex [15].

A borracha permaneceu durante vários anos como um material de excelência para apagar a escrita a lápis. Fenómeno que se popularizou no final do século XVII, sendo o seu impulsionador Joseph Priestley.

Assim, em 1800 a borracha tinha limitadas aplicações um vez que sofria da desvantagem de ser suscetível a mudanças de temperatura [12].

Passado alguns anos de desenvolvimento europeu, surge em 1819, com o cientista Inglês Thomas Hancock, o processo de “mastigação” da borracha natural, com apoio do seu artefacto mecânico, representado na figura 4 [12]. Hancock ficou surpreendido ao verificar que, uma vez “mastigada”, a borracha não se desfazia em pequenos pedaços, mas ao invés, agregava-se num sólido pedaço.

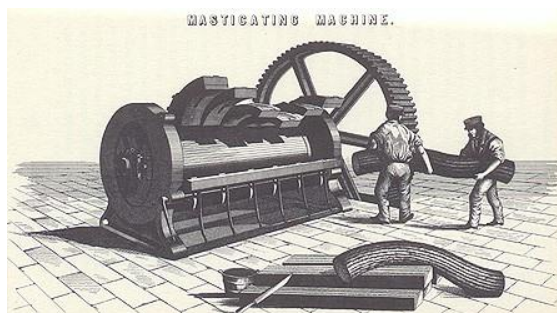


Figura 4 - 1ª Máquina de mastigação de borracha [12].

Surge, no início de 1831, um novo conjunto de experiências levadas a cabo por Charles Goodyear, investigador americano, com o intuito de melhorar as propriedades da borracha. Assim, em 1839 descobre que o tratamento de enxofre (S), acima do seu ponto de fusão, com borracha, resulta numa melhoria das propriedades mecânicas da borracha, aumentando também a sua resistência às variações térmicas [14].

Após Charles Goodyear constatar que o processo de transformação da borracha com enxofre e temperaturas elevadas libertava um odor a enxofre, semelhante ao sentido em zonas de atividade vulcânica, este processo foi designado por “vulcanização”, termo inspirado na mitologia, mais concretamente no deus do fogo – “Vulcano”.

Nos anos seguintes existiu um aprimoramento das características químicas e mecânicas da borracha, quer em solo europeu quer em solo americano [12].

O crescimento da indústria automóvel não teria sido possível sem o adequado fornecimento de borracha. Contudo, no decurso da I Guerra Mundial, quando os Alemães e Ingleses se viram privados do fornecimento de borracha natural, iniciaram a procura por um material alternativo. A descoberta do “processo de polimerização”, em 1909, viria a colmatar essas necessidades [16].

Assim, em 1909 é registada a primeira patente para produção de borracha sintética, autoria do alemão Fritz Hoffmann [16].

Alguns anos mais tarde, no decurso da II Guerra Mundial (1939-1945), a produção de borracha sintética começa a ganhar expressão, num mercado dominado pela borracha natural.

Durante a década de 1942 até 1952, a produção de borracha sintética nos Estados Unidos sobe de 22.000 para cerca de 800.000 toneladas/ano [17].

A produção de borracha sintética e natural continua a aumentar nos anos seguintes à Guerra, verificando-se um crescimento mais notório na produção de borracha sintética, ultrapassando a produção de borracha natural em 1962 [12].

2.2 A Vulcanização

A vulcanização foi conhecida inicialmente como sendo um processo que envolvia: 1º) borracha, 2º) enxofre e 3º) temperatura $> 130^{\circ}\text{C}$, tendo sido descoberta em 1839 por Charles Goodyear. Um dos elementos fundamentais ao processo é o recurso a um agente vulcanizante de excelência, ainda hoje utilizado, o enxofre [10].

Atualmente o processo de vulcanização é interpretado como uma modificação química das moléculas de borracha, existindo vários sistemas de vulcanização através de sistemas curados de peróxido, resinas fenólicas ou enxofre. Estes sistemas de cura são empregues juntamente com altas temperaturas ($> 130^{\circ}\text{C}$) [18].

O processo de vulcanização permite a transformação de um material relativamente plástico, num material altamente elástico. Para além disso, a borracha adquire um conjunto de propriedades que lhe conferem bom desempenho mecânico e uma durabilidade superior [15].

A vulcanização consiste num processo de reticulação da borracha, existindo a conversão de cadeias moleculares, numa rede tridimensional, onde as cadeias moleculares ficam ligadas entre si, por pontes de enxofre (S) [19]. Na figura 5 pode ver-se a reticulação apresentada, como uma união química entre cadeias moleculares.

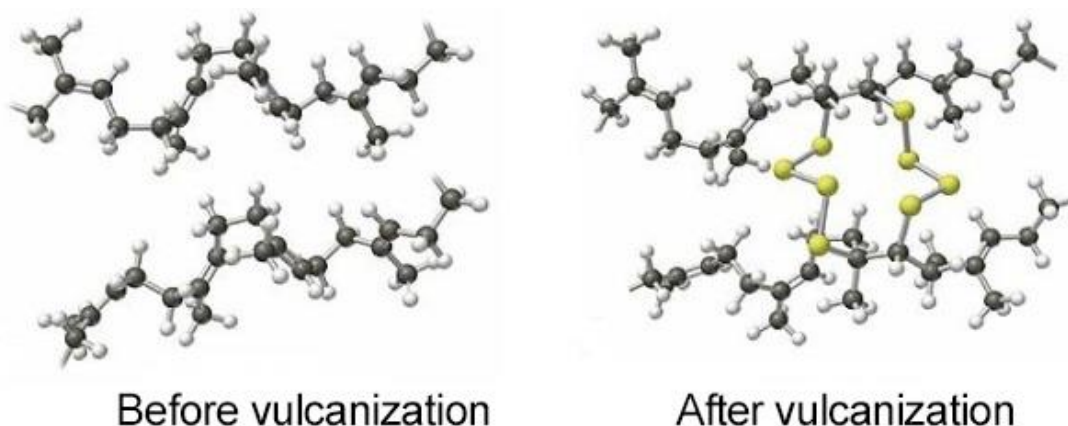


Figura 5 - Reticulação verificada no processo de vulcanização [20].

De referir que a vulcanização da borracha pode ser obtida sem passar pelo processo de exposição a alta temperatura ($> 130^{\circ}\text{C}$), usando para tal, técnicas de exposição à radiação, como a radiação a alta frequência (UHF – *Ultra High Frequency*) ou micro-ondas. Contudo, esta técnica não é amplamente usada devido ao seu custo e, devido a questões de segurança [18].

2.2.1 Parâmetros de vulcanização

A vulcanização, termo técnico para a cura da borracha com enxofre, de uma borracha natural, reveste-se de grande complexidade. É de suma importância entender quais os parâmetros que mais influenciam a densidade das ligações moleculares que se estabelecem aquando da vulcanização, e de que forma os parâmetros de controlo como temperatura e tempo influenciam as características mecânicas da peça vulcanizada, mais concretamente ao nível da sua rigidez, também designado por: módulo de compressão.

A rigidez corresponde à tensão necessária para causar deformação no material. Neste caso a borracha apresenta uma maior rigidez que a espuma de poliuretano (usada no enchimento de colchões e almofadas), o que significa que é necessário aplicar uma maior tensão para causar deformação [15]. Este ponto será mais aprofundado no subcapítulo “2.3.3 Determinação de deformação em compressão”.

Apesar da grande aplicação de componentes com ligação borracha-metal na indústria automóvel, especialmente pela sua redução nos ruídos e vibrações, como acontece no caso dos apoios amortecedores, os processos de colagem pelo processo de vulcanização ainda permanecem pouco desenvolvidos, uma vez que as peças em borracha com inserção de partes metálicas envolvem vários fenómenos de difusão intermolecular, reticulação e de volume [21].

Segundo este estudo [21], para a vulcanização de peças com ligação borracha metal, recorre-se ao seguinte espectro de temperaturas: 130 °C, 140°C, 150°C e 160°C, já o tempo empregue é ditado pela espessura de borracha da amostra ensaiada. Neste ensaio experimental verifica-se que quanto maior a temperatura empregue, menor o tempo necessário para se atingir o nível de vulcanização esperado.

Outro ensaio experimental [22], empregue igualmente em componentes com ligação borracha-metal, estuda as características de adesão da borracha ao componente metálico, com recurso a diferentes temperaturas de vulcanização. Neste caso, verifica-se uma inexistência de fenómenos de degradação da borracha, para temperaturas de vulcanização inferiores a 150 °C.

Os fenómenos de degradação de borracha são conhecidos pela diminuição da densidade de ligações intermoleculares, o que afeta as propriedades físicas da borracha, ao diminuir a rigidez do material, existindo também um aumento da histerese¹ [22].

Por outro lado, a utilização de temperaturas acima de 150-160°C, traduzem-se em níveis de adesão reduzidos, devido à degradação térmica das ligações intermoleculares, estabelecidas aquando da vulcanização [22].

Num outro ensaio experimental [23], a vulcanização de amostras cilíndricas em borracha natural, utilizando-se três temperaturas diferentes: 140 °C; 160°C; e 180°C, e diferentes tempos de vulcanização: 40 a 150 minutos, verificou-se um aumento de rigidez com o aumento da temperatura de vulcanização.

A rigidez corresponde à tensão necessária para causar deformação na borracha. Esta propriedade pode ser aumentada sem alterar o composto de borracha, mas recorrendo a maiores temperaturas de vulcanização, este aumento leva a uma diminuição da viscosidade do meio reacional, levando por isso, à maior mobilidade das cadeias moleculares, o que aumentam as probabilidades de se estabelecerem todas as pontes de enxofre possíveis, traduzindo-se na maior reticulação da borracha e no aumento da sua rigidez/módulo de compressão [15].

De referir que submetendo as peças a uma vulcanização prolongada, à temperatura de 160 °C e 180 °C, ocorreu degradação térmica e oxidativa da borracha, explicado pela cisão e rearranjo molecular [23]. Este fenómeno de degradação é também conhecido como “reversão” da borracha.

2.2.2 Ligações Cruzadas

Antes da reação com o enxofre, as moléculas de borracha podem deslocar-se livremente, tanto mais facilmente quanto mais elevada for a temperatura.

Após a reação, as cadeias moleculares não possuem o mesmo grau de liberdade, pois as ligações estabelecidas pelos átomos de enxofre restringem esses movimentos [15].

Este fenómeno confere à borracha vulcanizada a capacidade de manter a mesma estrutura molecular, sem se desagregar, mesmo quando sujeita a repetidas deformações, conforme se verá na figura 6.

¹ Histerese – Corresponde à maior ou menor tendência que um material apresenta na conservação da deformação causada por uma solicitação externa.

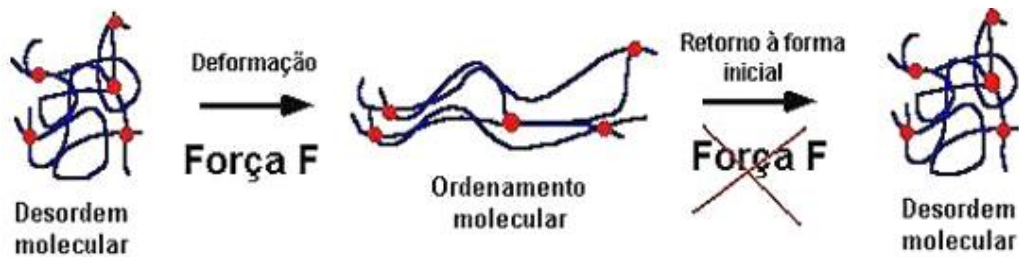


Figura 6 - Evolução do arranjo molecular da borracha vulcanizada, quando sujeita a deformação [15].

A reação entre borracha e enxofre, sem outro aditivo, é muito lenta. De forma a aumentar a competitividade económica deste processo, são adicionados aceleradores de vulcanização [10], componentes de grande importância no processo e que serão mais à frente analisados.

2.2.3 Aditivos usados no fabrico da borracha

A borracha no seu estado bruto é de reduzida aplicação, contudo, a mistura da mesma com outros ingredientes, torna-a útil para as mais diversas aplicações.

Existe um vasto leque de compostos capazes de influenciar química e fisicamente um elastómero. Abaixo apresentam-se alguns dos motivos encontrados [15].

1. Estabelecer ligações cruzadas;
2. Controlar a taxa de vulcanização;
3. Prolongar a vida útil da borracha;
4. Aumentar a plasticidade da borracha;
5. Aumentar as propriedades físicas da borracha.

Note-se que a incorporação de novo ingrediente na formulação química da borracha, acarreta por vezes, alterações colaterais negativas ao processo, o que implica por vezes, adicionar novo ingrediente para minimizar o efeito do ingrediente anterior na formulação [24].

Entre os ingredientes adicionados numa formulação de borracha, pode contar-se com:

- **Polímeros**

Correspondem às borrachas, quer naturais quer sintéticas.

- **Agentes vulcanizantes**

O agente vulcanizante mais frequente, e o primeiro a ser descoberto, é o enxofre. Note-se que não é o único, existindo outros elementos da tabela periódica como o Selénio [Se] e o Telúrio [Te] que também são capazes de vulcanizar a borracha. Estes últimos, porém, apresentam um custo substancialmente maior que o enxofre.

Em determinados casos aconselham-se agentes vulcanizantes diferentes do enxofre elementar. Estes casos são mais frequentes no processo de borrachas sintéticas, como o EPDM, Silicones, Policloropreno, entre outros [10].

- **Ativadores de Vulcanização**

Este ingrediente, quando usado na proporção correta na formulação de borracha, permite um incremento no grau de vulcanização. Óxidos de zinco e ácido esteárico são os mais importantes ativadores de cura em aplicação industrial [25].

- **Aceleradores**

A reação da borracha com enxofre, sem outros aditivos, é muito lenta, uma vez que tempos de vulcanização superiores a 5 horas são hoje inadmissíveis. Por essa razão, foi de enorme importância a descoberta dos aceleradores de vulcanização, compostos que adicionados em pequena quantidade, aceleram notavelmente a reação borracha-enxofre, reduzindo o tempo de vulcanização [25].

Entre os aceleradores mais vulgares encontram-se as: Guanidinas (CH_5N_3), o Dissulfureto de benzotiazol ($\text{C}_7\text{H}_5\text{NS}$), da família dos Tiazóis e o Dietil ditiocarbamato de zinco ($\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{N}_2\text{S}_4\text{Zn}$), da família dos Ditiocarbamatos [26].

- **Cargas reforçantes**

A borracha natural possui um certo grau de viscosidade, e apesar do seu reduzido módulo de elasticidade comparativamente ao aço, ela tende a enrijecer sob uma ação de tração. Quando se pretende aumentar as características físicas, como a resistência ao rasgamento e ao módulo de elasticidade, partículas finas de negro de fumo e sílica são utilizadas como cargas reforçantes [10].

- **Outros**

Existem outros ingredientes que podem fazer parte da formulação de uma borracha, entre os mais utilizados contam-se: os retardantes, agentes de acoplamento, plastificantes, peptizantes, antioxidantes, corantes, pigmentos, entre outros [25].

Salienta-se, que numa fábrica de peças em borracha, quando existe uma incorporação de novo ingrediente à formulação química da borracha, deverão existir sempre ensaios de laboratório para se conhecerem as novas propriedades reológicas de uma borracha, uma vez que novos ingredientes incorporados podem ter um efeito colateral inesperado, nas características físicas e químicas da borracha [24].

2.3 Testes de caracterização do composto

Composto é o termo industrial para designar: “borracha antes de vulcanização”, tendo este sido obtido a partir da mistura de um polímero natural ou sintético, com outros ingredientes.

Após o processo de vulcanização do composto, este é designado por “borracha”.

De um modo geral, os materiais são caracterizados por um conjunto diverso de propriedades, podendo estas ser englobadas em 3 grandes famílias [15]:

- Propriedades físicas;
- Propriedades químicas;
- Propriedades tribológicas;

Neste projeto serão analisadas as propriedades físicas, mais concretamente as propriedades mecânicas da borracha, ao nível do seu módulo de compressibilidade e da sua dureza.

Os ensaios que se seguem aplicam-se: 1º) ao composto, (obtido pelo processo de mistura de um polímero com outros ingredientes) e 2º) à borracha (obtida pelo processo de vulcanização do composto).

No primeiro caso é caracterizado o composto, para isso são determinadas as características quando em vulcanização, com reómetro de disco oscilante.

No segundo caso, o teste decorre após vulcanização do composto, em estudo tem-se: 1º) determinação da dureza (escala Shore A) e 2º) determinação de deformação sofrida em compressão.

2.3.1 Ensaio reométrico

A ciência que estuda a deformação e o fluxo de matéria é a reologia. Quanto aos equipamentos que determinam a curva reométrica são designados reómetros [15].

Na indústria da borracha, o objetivo do ensaio reométrico é medir a velocidade da reação de vulcanização da borracha, identificando igualmente se os compostos foram introduzidos nas proporções corretas.

Uma das formas de obter a curva reométrica de uma amostra de borracha é recorrer a um reómetro de disco oscilante. De acordo com a norma ISO 3417 “*Determinação das características de vulcanização com reómetro de disco oscilante*”, uma amostra de borracha é colocada entre dois discos, sendo em seguida aplicado um torque a um dos discos. No decurso do torque, a câmara de ensaio é aquecida até uma temperatura estipulada, durante um período de tempo normalizado. A aplicação do torque exerce uma tensão de corte rotacional no material e a deformação resultante é medida.

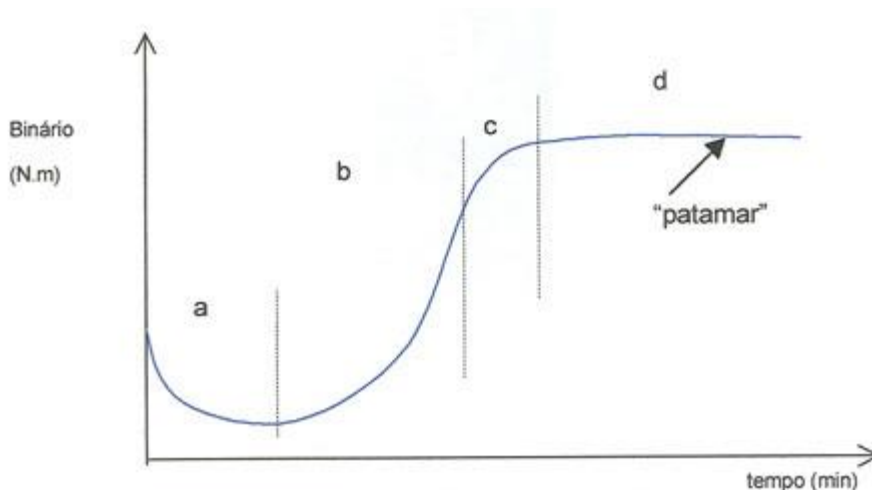
Na figura 7 pode ver-se representado um reómetro de disco oscilante da *Gibitre Instruments®*, concebido para o ensaio reométrico em análise.



Figura 7 - Reómetro de disco oscilante – Rheocheck Profile [27].

O ensaio reométrico é fundamental para avaliar o composto que sai do misturador, decidindo-se se o mesmo é aprovado ou não, comparando a curva obtida com uma curva típica de vulcanização [28].

Na curva gerada pelo reómetro deverão destacar-se quatro fases distintas, correspondendo a características singulares do estado de vulcanização do composto de borracha [19], as fases estão representadas numa curva reométrica típica, figura 8.



Analizando cada uma das fases, tem-se:

- Tempo durante o qual não ocorre vulcanização:** Período em que a borracha se comporta termoplasticamente, verificando-se perda de viscosidade ao longo do tempo. Note-se que um período inicial de vulcanização muito reduzido não é aconselhado, uma vez que pode ocorrer vulcanização antes de existir o enchimento completo de todas as cavidades do molde.
- Fase de sub cura:** Início da fase de reticulação do composto.
- Estágio de cura ótima:** Momento em que se atinge o grau máximo de reticulação, comprovado pelo binário máximo atingido.
- Fase de sobre cura:** Inicia assim que se prolonga o aquecimento/ vulcanização da borracha, para além do ponto ótimo de cura.

Note-se que no caso do ensaio reométrico de uma borracha natural (NR) pode ocorrer um fenómeno de decréscimo de binário. Esta situação ocorre caso seja prolongada a exposição do provete à temperatura de vulcanização. Esta fase é denominada regressão [23], conforme se pode ver na figura 9.

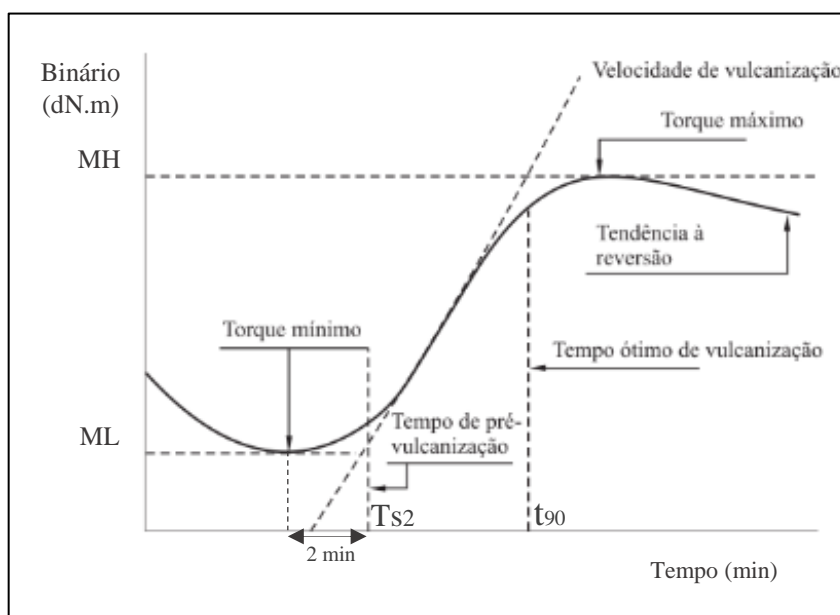


Figura 9 - Curva típica de uma análise reométrica de disco oscilante para uma NR, adaptado de [29].

A curva reométrica consiste na determinação dos parâmetros da tabela 1, para caracterização dos compostos de borracha.

Tabela 1 - Parâmetros de cura obtidos da curva reométrica.

Parâmetro	Designação	Unidade S.I
ML	Valor mínimo de binário da amostra não vulcanizada. Graficamente é o ponto mais baixo da curva reométrica (dN.m)	dN.m
MH	Valor máximo de binário, à temperatura de vulcanização. Corresponde ao ponto mais alto da curva reométrica (dN.m)	dN.m
T_{s2}	Tempo necessário para que o binário alcance o valor igual a ML, acrescido de 2 unidades de minuto (ML + 2 unidade)	min
t₉₀	Tempo necessário para atingir 90% do grau de vulcanização. Tempo ótimo de vulcanização	min

2.3.2 Dureza

A determinação da dureza é o teste mais comum, e mais acessível entre as indústrias da borracha. A medição deste parâmetro é possível utilizando um durómetro que mede a profundidade de penetração de uma agulha, quando esta entra em contacto com uma amostra do composto [28].

Existem dois tipos distintos de medição da dureza de uma borracha. Por um lado, para borracha de dureza média temos a escala Shore A, quando se trata de dureza elevada, temos a escala Shore D. A distinção entre as duas escalas de medição prende-se com a necessidade de uma borracha de dureza elevada necessitar de uma agulha mais pontiaguda para penetrar mais facilmente, conforme se constata na figura 10.

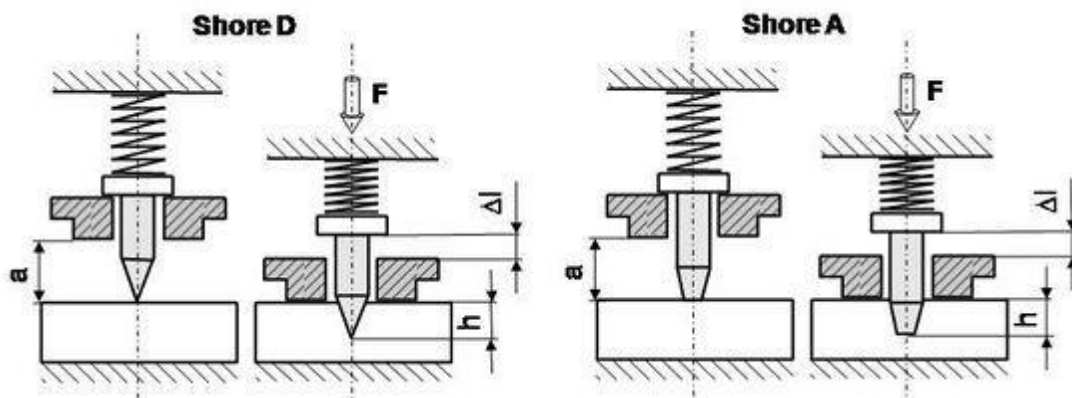


Figura 10 - Esquema das agulhas shore D e shore A [28].

Os métodos de medição apresentados têm diferentes aplicações, conforme se pode verificar em seguida, na figura 11.

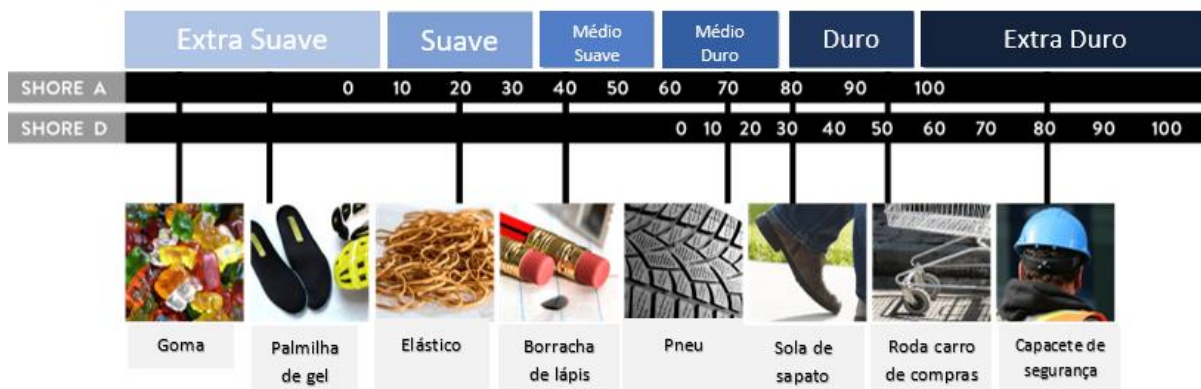


Figura 11 - Escala Shore A vs. Shore D, adaptada de [30].

2.3.3 Determinação de deformação em compressão

Existe um vasto conjunto de ensaios para caracterizar uma amostra de borracha vulcanizada. Estes ensaios são realizados a partir de provetes com dimensões previamente estabelecidas.

Para todos os ensaios mecânicos, os provetes devem ser acondicionados, por um período de 16h, a uma temperatura normalizada de laboratório $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, imediatamente antes do ensaio [31].

Segundo a norma ISO 7743:2017 “*Borracha vulcanizada - Determinação de deformações em compressão*” [32], existem dois métodos para determinação desta característica física.

No primeiro método, a peça a ensaiar, que pode ou não ser lubrificada, é colocada sob os pratos do equipamento de ensaios por compressão. Em seguida são efetuados 4 ciclos de compressão, até ao limite de 25% da deformação da peça, a uma velocidade de 10 mm/min. A curva tensão-deformação é registada no 4º ciclo.

No segundo método, a peça é colocada sob os pratos do equipamento de ensaio, e é comprimida a 10 mm/min até atingir uma deformação de 30%, sendo registada a curva tensão-deformação.

Na figura 12 pode ver-se uma curva típica tensão-deformação da borracha.

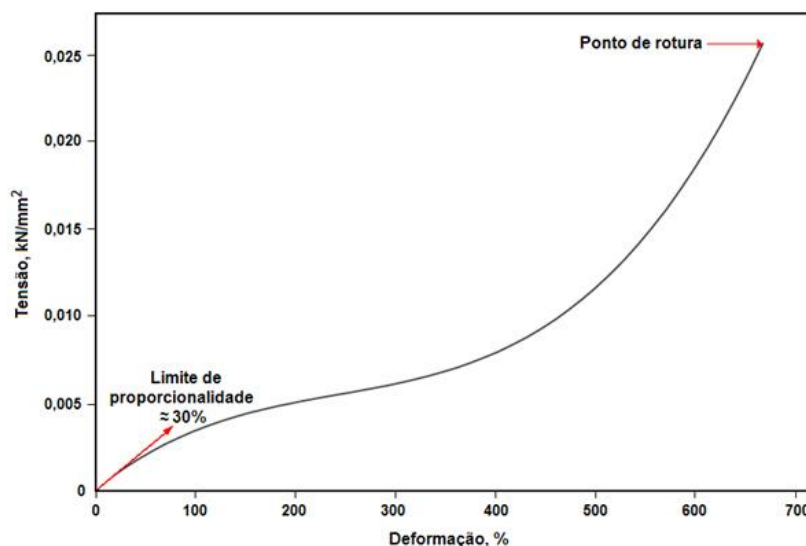


Figura 12 - Representação da curva tensão-deformação para a borracha [15].

2.4 Principais borrachas

O ser humano está indiscutivelmente ligado ao mundo da borracha, nos mais diversos momentos da vida diária moderna, encontrando-se nos pneus e componentes do automóvel, na mangueira doméstica ou industrial, pavimentos, aplicações médicas e alimentares. Em suma, os produtos da borracha podem ser encontrados em todo o lado [33].

O elastómero, a que damos o nome de borracha, apresenta várias composições químicas, apresentando por isso, diferentes características físicas e químicas.

Os mais de 500 tipos e variedades de borracha são classificados em duas grandes famílias: Borrachas Naturais e Borrachas Sintéticas. Estas famílias podem ainda subdividir-se em 20 grupos principais, conforme se apresenta na tabela 2.

Tabela 2 - Designação das principais borrachas [25].

SIGLA²	Designação EN	Designação PT
NR	Natural Rubber	Borracha Natural
IR	Isoprene Rubber	Borracha Isopreno
CO/ECO/ETER	Epichlorohydrin Polymers	Polímero de Epicloridrina
SBR	Styrene-Butadiene Rubber	Borracha Estireno Butadieno
IIR	Isobutylene Isoprene Rubber	Borracha Butílica
CIIR / BIIR	Clorobutyl Rubber / Bromobutyl Rubber	Borracha Butílicas Halogenadas
BR	Butadiene Rubber	Borracha Butadieno
EPM / EPDM	Ethylene Propylene Rubber	Borracha de Etileno-Propileno-Dieno
CR	Polychloroprene	Policloropreno
NBR / HNBR	Nitrile Rubbers	Borracha Nitrílica
MQ / VMQ, FVMQ / PVMQ	Silicone Rubbers	Silicones
CPE / CM	Chlorinated Polyethylene	Borracha de Polietileno Clorado
CSM / CSPE	Chlorosulphonated Polyethylene	Polietileno Cloro Sulfonado
EVA / EAM	Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer	Copolímeros de Etileno e Propileno
EACM / AEM	Ethylene-Acrylic Rubber	Borracha Etileno Acrílate
ACM	Polyacrylate Rubbers	Borrachas de Poliacrilato
OT / EOT	Polysulphide Rubber	Borrachas de Polissulfureto
PO / GPO	Propylene Oxide-Allyl Glycidyl Ether Copolymer	Copolímeros de óxido de propileno e éter de alquilglicídio
AU / EU / PU	Polyurethane Elastomers	Borrachas de Poliuretano
FPM / FKM/ FFKM	Fluorocarbon Rubber	Borracha Fluorada

² Designação de acordo com norma ISO 1629

Os diferentes tipos de borracha presentes no mercado, têm o intuito de se adaptar às mais diversas condições de funcionamento.

Por um lado, a borracha natural apresenta alta resistência à tração, desgaste, rasgamento, apresentando moderada resistência à exposição solar, ozono e oxidação, é também uma borracha com características excelentes de aderência ao metal. A sua produção destina-se essencialmente para a indústria dos pneus [10].

Por outro lado, para situações em que a peça esteja em contacto com óleos, ou quando exposta a: temperaturas altas, ar atmosférico, ozono, chama e temperaturas baixas, utilizam-se as borrachas sintéticas [10].

A temperatura de serviço de um elastómero é um fator importante na escolha do melhor composto para determinada função. A figura 13 apresenta, no eixo das ordenadas, a variável temperatura (°C), dispondo cada tipo de borracha no intervalo de temperatura mais aconselhável.

Note-se que, no caso da borracha NR, a temperatura máxima de serviço de 80 °C não deve ser ultrapassada por longos períodos, exceto se a exposição ao meio for momentânea ou intermitente.

Um outro fator a ter em conta na escolha da borracha prende-se com a existência ou não de óleo, eixo das abcissas do gráfico, figura 13.

A figura 13 destaca também compostos como o: FKM ou FFKM, pela sua grande resistência aos óleos e à temperatura, contudo, devido ao seu elevado custo, é um composto de reduzida utilização, e apenas empregue para aplicações de grande rigor funcional.

De referir que na figura 13 são apresentadas as condições ótimas de utilização de vários tipos de borracha sintética e de borracha natural, pelo que, a utilização de borracha num intervalo de temperatura não indicado na figura, terá de sofrer um ensaio experimental.

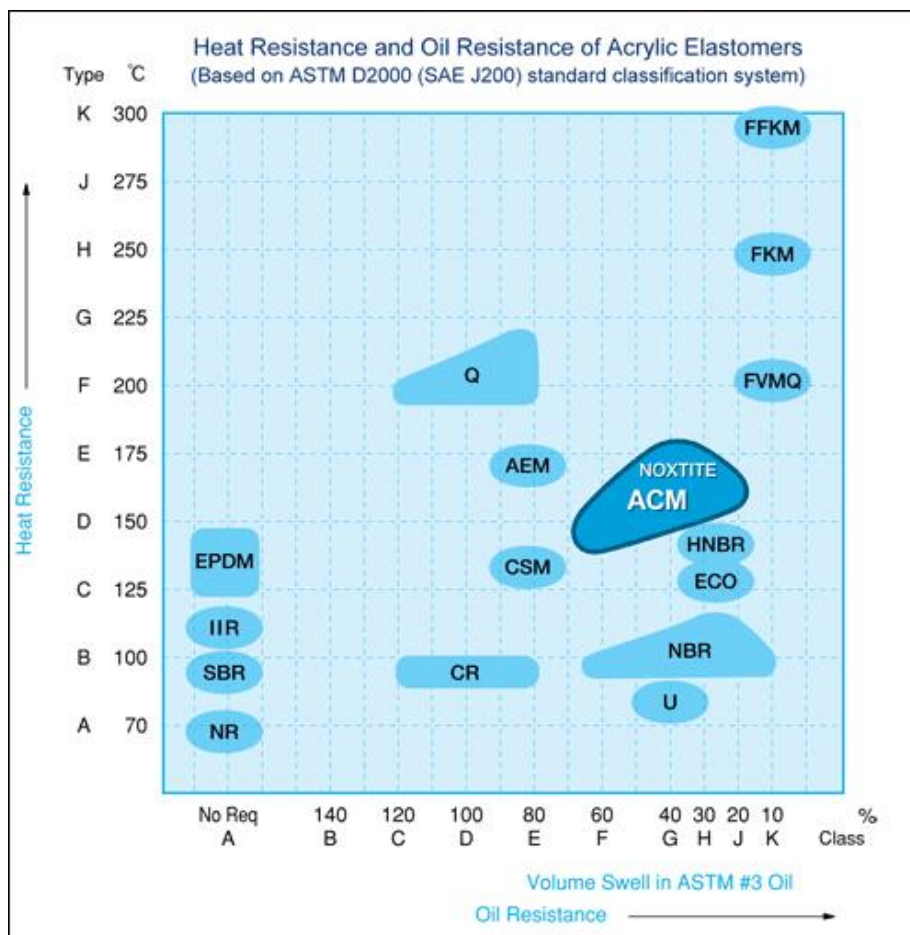


Figura 13 - Resistência ao calor e aos óleos das principais borrachas [34].

2.4.1 A borracha natural - NR

O primeiro material conhecido por borracha foi a borracha natural, proveniente da seiva da árvore *Hevea Brasiliensis*. O processo de obtenção da borracha natural provém da coagulação por acidificação do látex (seiva segregada pela planta), sendo a borracha fabricada sob rigorosos parâmetros industriais [19].

Quimicamente, a borracha natural é um cis-1,4-poliisopreno, resultante da polimerização do monómero de isopreno [24]. O processo de formação de estruturas maiores a partir de estruturas menores (monómeros) designa-se polimerização, o que conduz à obtenção de um polímero. A estrutura química da borracha natural está representada na figura 14.

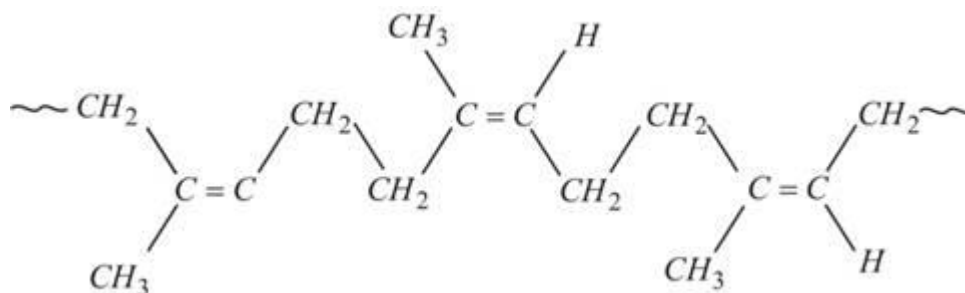


Figura 14 - Estrutura química da borracha natural [35].

As características da borracha natural permitem-lhe ser o material de excelência para diversas peças, tais como: luvas, pneus, componentes anti vibratórios, isolamento elétrico, tubagens, vedantes, entre muitos outros [36].

É de destacar na borracha natural as seguintes características [19]:

- Excelente resistência à fadiga e propagação de fendas;
- Elevada resiliência;
- Reduzida histerese;
- Ótima aderência aos metais;

As características apontadas atrás têm por base as seguintes propriedades mecânicas, estando o seu valor enquadrado no intervalo apresentado na tabela 3.

Tabela 3 - Principais propriedades mecânicas da borracha natural [36].

Propriedades mecânicas	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades S.I
Módulo de Young	0,0015	0,0025	GPa
Módulo ao Corte	6e-4	8e-4	GPa
Módulo de Compressibilidade	1,4	1,5	GPa
Coeficiente de Poisson	0,499	0,5	
Tensão Limite de Elasticidade	20	30	MPa
Tensão de Rutura	22	32	MPa
Tensão de Compressão	22	33	MPa
Deformação à rutura	500	800	%
Resistência à Fadiga a 10^7 ciclos	4,2	4,5	MPa
Tenacidade à Fratura	0.15	0.25	MPa.m ^{0.5}
Fator de dissipação de viscosidade	0,8	1,9	

De destacar algumas limitações deste material como a falta de resistência aos óleos e fluidos orgânicos, a temperaturas de serviço que ultrapassem os 115 °C, a baixa resistência ao ozono e à radiação UV [36].

Apenas se estudam as propriedades da borracha natural, uma vez que é neste tipo de borracha que os apoios amortecedores em estudo são fabricados.

3 Descrição do processo produtivo na Flexocol

Este capítulo surge da necessidade em analisar o estado atual do processo de fabrico existente na empresa.

Uma vez que a gama de produtos da Flexocol é diversa, decidiu-se analisar com maior detalhe as peças moldadas, uma vez que representam maior volume de vendas para a empresa.

Na família de peças moldadas existe um grande leque de opções, uma vez que englobam este grupo quer peças em borracha, quer peças em borracha-metal, contudo, por sugestão da empresa, irão ser estudadas as peças que se apresentam na figura 15, de agora em diante designados “apoios amortecedores”.



Peças em análise neste projeto		
		
Referência do apoio amortecedor		
180 223 10 12	615 223 01 12	107 241 22 13
Abreviatura		
AP-1012	AP-0112	AP-2213

Figura 15 - Ilustração dos apoios amortecedores em estudo, Flexocol 2018.

Os apoios amortecedores em análise, referem-se a peças com mais de uma parte metálica, ligadas entre si por um elastómero.

O elastómero em causa é a borracha natural (NR), ideal para ligação a superfícies metálicas e com um ótimo comportamento dinâmico, absorvendo as vibrações do veículo e aumentando o tempo de vida útil do motor.

Na montagem de um apoio amortecedor, uma das partes metálicas é fixa à estrutura (chassis) de um automóvel, e na outra extremidade é apoiado o motor, figura 16.



Figura 16 - Montagem de apoio amortecedor em Mercedes Benz R107 [37].

Os apoios amortecedores em estudo, são incorporados em modelos Mercedes Benz que já não se encontram em fabrico, mas onde existe uma procura anual de 1.000 a 5.000 unid./ano, gerada pela manutenção de carros de coleção.

Na figura 17 podem ver-se alguns dos modelos que requerem as peças em estudo neste projeto, de notar que o *Modelo 190SL* é constituído por uma peça produzida na fábrica, contudo não faz parte do lote de peças analisadas neste projeto





Modelos Mercedes-Benz®	
A	B
	
C	D
	
Informação adicional:	
A	Modelo W108, equipado com apoio 180 223 10 12. Produzido de 1965 a 1972; [38]
B	Modelo W114, equipado com apoio 615 223 01 12. Produzido de 1968 a 1976; [39]
C	Modelo 190SL, equipado com apoio 120 223 04 12. Produzido de 1953 a 1963; [39]
D	Modelo 560 SL, equipado com apoio 107 241 22 13. Produzido de 1972 a 1989; [39]

Figura 17 - Modelos Mercedes-Benz® equipados com alguns dos apoios amortecedores em estudo.

Na figura 18 são apresentadas as principais etapas do processo de fabrico dos apoios amortecedores, juntamente com o setor onde ocorrem.

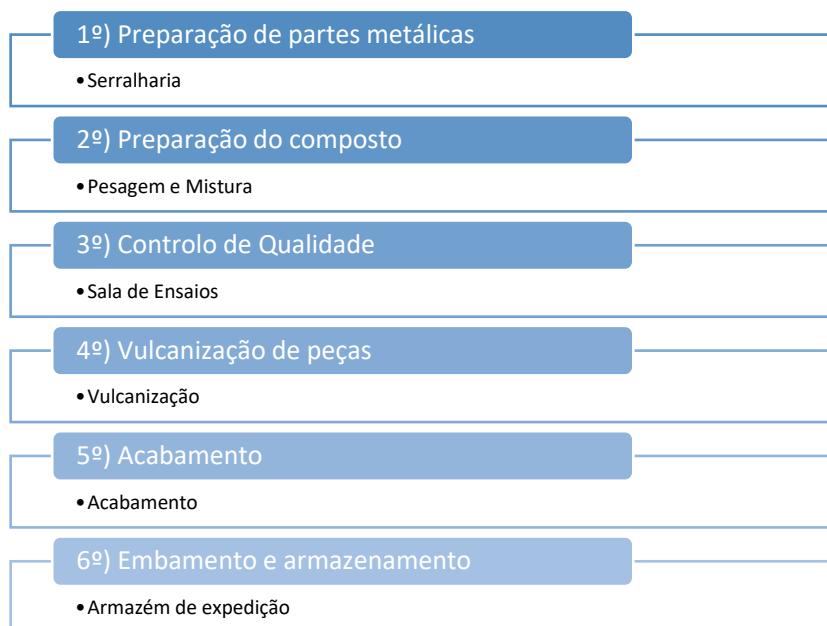


Figura 18 - Representação do processo de fabrico dos apoios amortecedores.

No anexo A é exposto o *layout* da Flexocol, onde constam os setores de fabricação dos apoios amortecedores.

Os subcapítulos que se seguem irão expor detalhadamente o processo de fabrico de um apoio amortecedor. De referir que apesar do processo “3.1 *Preparação de partes metálicas*” surgir antecipadamente ao processo “3.2 *Preparação do composto de borracha*”, nada tem a ver com a prioridade do mesmo, uma vez que são dois processos que ocorrem em paralelo na linha de produção, e que convergem assim que se obtém a peça por vulcanização. Daí em diante, o processo ocorre sequencialmente, seguindo-se o acabamento e o embalamento.

Na figura 19 podem ver-se as necessidades materiais para a obtenção de um apoio amortecedor, pelo processo de vulcanização por compressão.

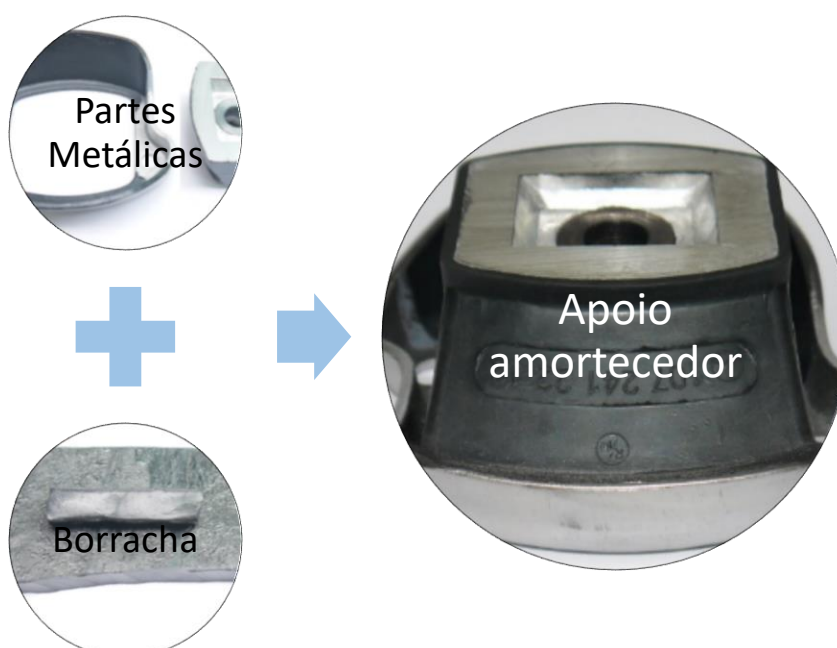


Figura 19 - Exemplificação das necessidades materiais, para obtenção de um apoio amortecedor.

3.1 Preparação de partes metálicas

A preparação de partes metálicas envolve todos os processos de transformação, partindo de chapa laminada ou de tubo, e terminando nas partes metálicas a incorporar no apoio amortecedor.

No caso dos apoios amortecedores em estudo, uma das três partes metálicas constituintes é subcontratada, contudo, existem máquinas para as fabricar internamente.

O processo envolvido na produção das partes metálicas envolve o uso das seguintes máquinas: guilhotina, balancé mecânico, prensa de fricção, serra mecânica e torno convencional.

Entre as operações envolvidas para a obtenção das mesmas, conta-se o/a: corte, furação, estampagem, rebarbagem, maquinagem e acabamento. Algumas das operações referidas atrás estão representadas na figura 20.



Operações de preparação de partes metálicas Setor: Serralharia					
					
Antes:	Após:	Antes:	Após:	Antes:	Após:
					
Incorporado na peça: AP-1012		Incorporado na peça: AP-1012		Incorporado na peça: AP-2213	
Material					
Chapa laminada a frio St 12 esp = 2.5 mm		Chapa laminada a frio St 12 esp = 2.5 mm		Chapa laminada a frio St 12 esp = 3.0 mm	
Dados técnicos: St 12					
Composição Química:		0.10% C 0.22% Mn 0.005% N 0.032% S 0.02% P			
Ensaio de Tração		Rm: 332 N/mm ²		Re: 226 N/mm ²	A: 36 %
Processo de fabrico					
Estampagem em prensa de fricção		Furação em balancé mecânico		Acabamento manual de parte metálica com lixa	

Figura 20 - Algumas operações de preparação de partes metálicas, Flexocol 2018.

3.2 Preparação do composto de borracha

Esta fase do processo envolve três etapas, ocorrendo em dois locais da fábrica.

Em primeiro lugar, no setor *Pesagem* procede-se à pesagem das matérias primas de menor volume, designados “minoritários”, enquanto que no setor “Mistura” se procede à pesagem das matérias primas de maior volume designados “maioritários”.

O composto é o resultado final da mistura de ingredientes, que se distribuem entre matérias primas minoritárias e maioritárias, sendo esta etapa concluída no setor *Mistura*.

Tanto a pesagem dos minoritários como dos maioritários segue um documento próprio, designado: *Formulação base da liga*, contendo as quantidades de todos os ingredientes necessários à preparação.

Na estrutura da formulação do composto a quantidade de cada ingrediente é expressa em phr (parts per hundred of Rubber – partes por cem de borracha). Ou seja, todos os ingredientes adicionados, são medidos em relação ao peso de borracha introduzida.

Na tabela 4 pode ver-se a composição de uma NR – Dureza 60 Shore A. Nos casos em que se pretende uma especificação diferente de dureza (Shore A), a quantidade de Carga: “negro de fumo” ou “plastificante” é alterada.

Tabela 4 - Formulação base da liga NR – Dureza 60 Shore A.

Composto		phr
Maioritários	Borracha Natural	100
	Plastificante	30
	Carga (negro de fumo)	10
Minoritários	Óxido de Zinco	5
	Enxofre	2
	Aceleradores	1,5
	Ácido Esteárico	1
	Antioxidantes/ Antiozonante	1

3.2.1 Pesagem de minoritários

Esta fase, que ocorre no setor *Pesagem*, envolve a pesagem dos minoritários.

É dado o nome de minoritário a todos os ingredientes que, pela sua reduzida dimensão, são adicionados no processo de mistura de uma borracha. Estes ingredientes permitirão obter as propriedades físicas e químicas desejadas, são eles: agentes vulcanizantes, aceleradores, ativadores de cura, retardantes, agentes de proteção e auxiliares de processamento.

3.2.2 Pesagem dos maioritários

Esta fase decorre no setor da *Mistura*, uma vez que as matérias primas, de maior volume, se encontram lá armazenadas.

Os componentes maioritários correspondem ao: polímero, neste caso, borracha natural - NR, ao negro de fumo, e ao plastificante, conforme se apresenta na figura 21.



Figura 21 - Exemplo dos maioritários adicionados à preparação da borracha, Flexocol 2018.

3.2.3 Mistura

Esta etapa, que se segue à pesagem das matérias-primas, consiste na mistura ordenada de todos os ingredientes, até obter uma massa homogênea designado composto ou remessa de borracha. Esta etapa é executada em misturadores abertos, localizados no setor: *Mistura*.

Os misturadores abertos estão equipados com dois cilindros paralelos, que em funcionamento irão apresentar uma rotação com sentidos contrários.

Os cilindros possuem também velocidades de rotação diferentes, em torno dos 30 a 35 rpm, permitindo friccionar a borracha quando esta flui (no sentido de rotação dos cilindros) pelo intervalo (N) existente entre eles, conforme se apresenta na figura 22.

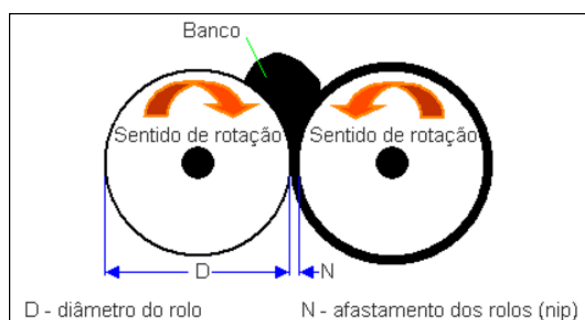


Figura 22 - Representação do sentido de rotação dos cilindros [15].

A ação de compressão, mistura e fricção promovida pelos cilindros, permite a incorporação dos diversos ingredientes da formulação. Existe também dispersão ao romper com os aglomerados macroscópicos, e, por fim, espera-se obter uma correta homogeneização, que consiste na distribuição equitativa dos ingredientes, pela banda de composto [15].

A fricção gera calor, permitindo misturar mais facilmente os ingredientes, contudo, calor em excesso irá pré vulcanizar o composto, por isso, de forma a arrefecer os cilindros, estes são ocos de forma a agregar condutas para o sistema de refrigeração.

O processo de mistura de borracha segue um procedimento normal de mistura, também designada “marcha do processo”, com as seguintes etapas:

- 1) Mistura inicial dos maioritários
- 2) Adicionar minoritários
- 3) Homogeneização da mistura

Na figura 23 podem ver-se duas imagens, na primeira já ocorreu mistura de NR com negro de fumo, pelo que a fase seguinte consiste em introduzir os minoritários, já a segunda imagem apresenta a banda de composto com a homogeneização pretendida, a obter na fase final do processo de mistura.

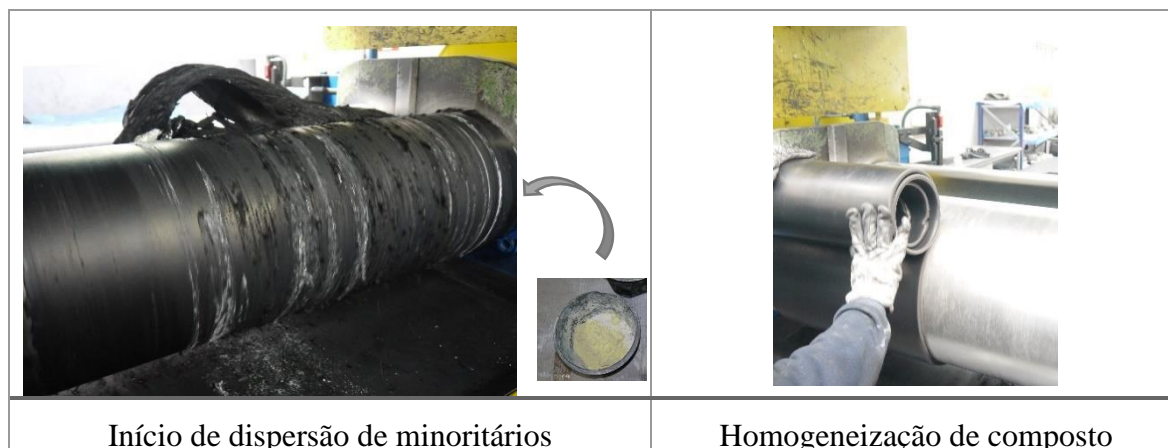


Figura 23 - Processo de preparação do composto, Flexocol 2018.

Assim que se obtém a homogeneização desejada, o resultado do processo de mistura passa a designar-se “Remessa de Borracha”, figura 24, sendo colocado num espaço destinado ao controlo de qualidade.



Figura 24 - Remessa de Borracha, Flexocol 2018.

3.3 1º Controlo de qualidade

Esta fase corresponde a um controlo de qualidade do processo. Assim, após a obtenção da remessa de borracha, pelo processo de mistura, é necessário confirmar as propriedades físicas da mesma, pelo que se executa um ensaio reométrico e uma posterior medição da dureza de provete, para sua identificação no processo de fabrico.

O controlo de qualidade no final da mistura é executado a 100% das remessas, para confirmar a correta homogeneização da mistura, bem como algumas características físicas.

Portanto, de forma sequencial, são realizados os dois testes à remessa de borracha.

No primeiro teste, o ensaio é executado à remessa de borracha antes de vulcanizar. Já no segundo teste, o ensaio é executado com a remessa corretamente vulcanizada.

3.3.1 Ensaio reométrico

O ensaio reométrico consiste em colocar uma amostra de uma remessa de borracha a vulcanizar $9,0 \pm 0,5$ g, num reómetro de disco oscilante da *Gibitre Instruments®*, mais concretamente na câmara sobre o rotor. O teste é realizado durante um período de 6 min e a uma temperatura de 170 °C.

Após o encerramento da câmara, a amostra circunda totalmente o rotor e este inicia a oscilação com uma amplitude de rotação de 3° e a uma frequência de 100 ciclos/min.

É iniciado o ensaio reométrico, no qual é medida a velocidade de vulcanização do composto, para as condições admitidas.

No final do ensaio, o técnico da sala de ensaios analisa os dados da curva reométrica, e consoante a curva obtida, aprova ou rejeita a remessa de borracha.

Aprovando a remessa, o processo continua para um controlo da dureza, caso rejeite a remessa, procede-se a uma correção dos ingredientes do composto (*reprocessamento*), levando a nova mistura.

A correção da remessa pode dever-se a uma incorreta incorporação dos componentes adicionados durante a mistura, traduzindo-se numa curva reométrica de configuração diferente da apresentada na figura 8, *capítulo 2, ponto 2.3.1*, ou seja, a solução passa por misturar novamente a remessa e proceder a novo ensaio reométrico.

Na figura 25 pode ver-se o 1º provete obtido do ensaio reométrico, juntamente com a curva reométrica traçada pelo reómetro (*figura 7*).

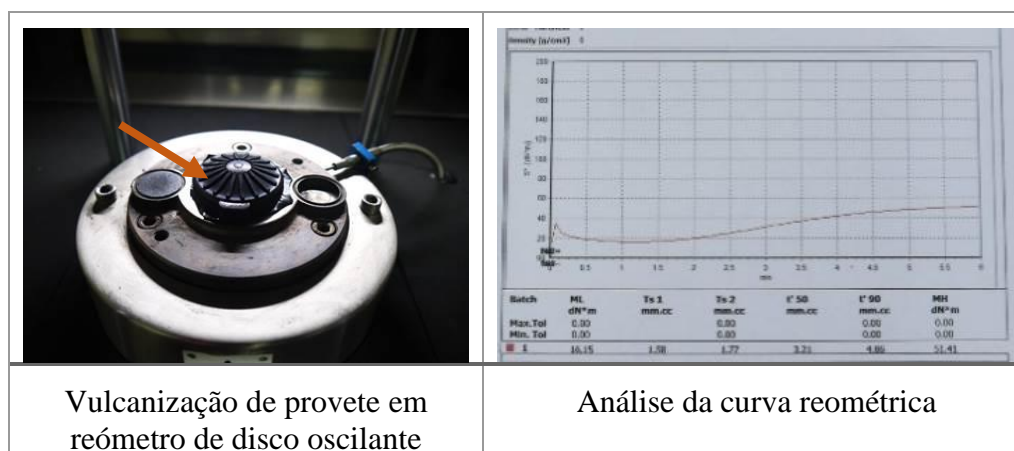


Figura 25 - Fases principais do controlo de qualidade: ensaio reométrico, Flexocol 2018.

3.3.2 Medição de dureza Shore A

Em segundo lugar, obtendo validação do ensaio reométrico, procede-se a uma medição da dureza da borracha, com recurso a durómetro de bolso.

Na figura 26 pode ver-se o 2º provete a ensaiar, vulcanizado em simultâneo com o 1º provete da análise reométrica.



Figura 26 - Fases principais do controlo de qualidade - dureza Shore A.

Uma vez confirmada a dureza (Shore A) da remessa, de acordo com a norma ISO 868, o departamento de qualidade despoleta a continuação do processo, identificando com etiqueta a remessa de borracha analisada, contendo o valor da dureza medido, figura 27.

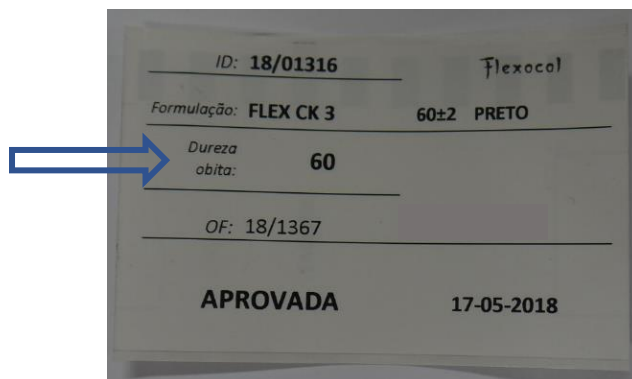


Figura 27 - Etiqueta identificadora de remessa de borracha, NR 60 - Shore A.

De referir que por vezes ocorrem alterações externas ao processo, como uma alteração das propriedades da borracha natural por parte do fornecedor, este fenómeno traduz-se numa dureza não expectável da remessa de borracha. Assim, com o intuito de corrigir a dureza (Shore A) da borracha, a remessa é levada novamente para o setor da *Mistura* onde sofre o processo de *reprocessamento*.

O processo *reprocessamento*, alteração das propriedades da borracha, corresponde ao aumento da dureza, adicionando 100 g de Carga *negro de fumo*, ou a uma diminuição da dureza, adicionando 100 g de Plastificante.

Posteriormente o processo decorre de igual forma, conforme explicado no ponto 3.3.

3.4 Vulcanização

Esta fase inicia assim que a remessa de borracha é aprovada no ensaio físico reométrico e de dureza, identificando-se a remessa com etiqueta. Neste momento o Operador de produção recebe uma “Ordem de fabrico” – OF com os detalhes técnicos de fabricação da peça, juntamente com a remessa de borracha.

No anexo B pode ver-se a estrutura típica de uma OF, onde consta a identificação da peça, as matérias primas necessárias, a quantidade a fabricar, os parâmetros de vulcanização, entre outras informações, que são menos relevantes no processo de fabrico, mas importantes para o correto controlo logístico da peça, pelo sistema de gestão utilizado na empresa – SAGE®.

O processo de vulcanização requer diversas condições como: temperatura, tempo e pressão.

A pressão permitirá facilitar a adesão entre o polímero e a superfície metálica, contudo, uma vez que esta adesão nunca se tornaria permanente apenas com a pressão e temperatura, recorre-se a uma cola/adeseivo que permitirá a ligação permanente entre borracha – metal.

Os adesivos em causa são o Chemosil® 211 e o Chemosil® 225, estes são fornecidos no estado líquido, para aplicação sobre as partes metálicas.

O primeiro adesivo tem cor cinza e será designado por “primário”, este é aplicado com pincel sobre as partes metálicas, e é ideal para adesão a substrato metálico. Este adesivo requer um tempo de secagem de 30 min, podendo as partes metálicas com o adesivo ser armazenadas até 3 meses, sem perigo de perda de propriedades de adesão [40].

O segundo adesivo tem cor preta e será designado por “secundário”, este é igualmente aplicado sobre as partes metálicas com recurso a pincel. É um adesivo ideal para ligação entre o “primário” e diversos polímeros, entre eles a NR, apresentando uma temperatura de cura de 130°C a 180°C, que corresponde à temperatura de vulcanização da borracha [41].

Uma vez que a pressão de fecho do molde é o parâmetro mais facilmente atribuído a uma peça, no sentido em que deve ser a suficiente para fechar totalmente o molde por compressão, não apresentando problemas caso seja elevada, uma vez que os moldes em aço são maciços exceto no seu interior, os parâmetros mais difíceis de obter, uma vez que dependem do tamanho do molde, do tamanho da peça, da sua configuração, e dos seus materiais, são a temperatura e tempo de vulcanização.

Desta forma, dos três parâmetros de vulcanização apresentados, a pressão não será estudada, pois é sempre constante e determinada inicialmente.

Para os apoios amortecedores em estudo, os parâmetros de vulcanização utilizados atualmente na empresa, são os seguintes:

- Temperatura de vulcanização: 140 °C
- Tempo de vulcanização: 40 min

O processo de vulcanização envolve diversas operações, apresentando-se em seguida:

- 1) Pesar composto: Uma vez aprovada a dureza da remessa, esta é cortada em porções previamente determinadas, informação essa que consta na OF;
- 2) Aplicar os dois adesivos: Iniciando pelo primário, ao que depois deste secar, é aplicado o secundário, nas regiões da parte metálica em contacto com o polímero;
- 3) Aplicar desmoldante no molde: O desmoldante, designado *DARWAN® 500*, que se encontra no estado líquido, é aplicado com recurso a jato de ar comprimido. Este material é gorduroso, permitindo retirar a peça facilmente, sem que a borracha vulcanizada adira às paredes do molde;
- 4) Carregar molde (introdução de borracha): A porção de borracha é então colocada no molde, onde previamente são introduzidas as partes metálicas no local respetivo da cavidade. O molde é fechado e posteriormente introduzido numa prensa hidráulica;
- 5) Realizar à degaseificação: O processo de degaseificação consiste na compressão do molde até pressões na ordem dos 70-100 bar, libertando-se em seguida essa pressão. Este procedimento é realizado, em norma, três vezes, com o intuito de retirar o ar do interior do molde e promover uma correta dispersão do composto por toda a cavidade do molde;
- 6) Iniciar processo de vulcanização: Os parâmetros: tempo e temperatura de vulcanização estão indicados na respetiva OF. É nesta fase que o composto adquire as propriedades mecânicas desejadas, resultado da reticulação das cadeias de polímeros por pontes de enxofre que se formam durante o aquecimento;

Na figura 28 podem ver-se algumas das operações explanadas atrás, onde através de moldação por compressão, a parte metálica e composto resulta num apoio amortecedor.



Figura 28 - Ilustração do resultado obtido do processo: vulcanização por compressão, Flexocol 2018.

3.5 2º Controlo de qualidade

Esta segunda etapa do controlo apenas se coloca para peças de clientes que requerem controlo de peças por ensaio mecânico. Assim, o ponto que se segue apresenta a forma como este controlo é levado a cabo, para as peças em estudo.

3.5.1 Ensaio mecânico

Uma vez a peça em produção, o operador de fabrico tem instruções para que no final do seu turno, retire aleatoriamente uma peça do conjunto de peças fabricadas, colocando-a no cesto (verde) da figura 29, para que a peça sofra um novo controlo de qualidade, dirigindo-se para a sala de ensaios.



Figura 29 - Cestos para peças NC (cesto vermelho) e para ensaio mecânico (cesto verde), Flexocol 2018.

Assim, de acordo com as condições de ensaio do cliente, são comparados os resultados obtidos nos ensaios mecânicos com a especificação imposta pelo cliente.

Cumprindo com o ensaio, e verificando a não existência de defeitos de fabrico, o departamento de qualidade elabora um relatório de conformidade, que será mais tarde enviado para o cliente, figura 30.

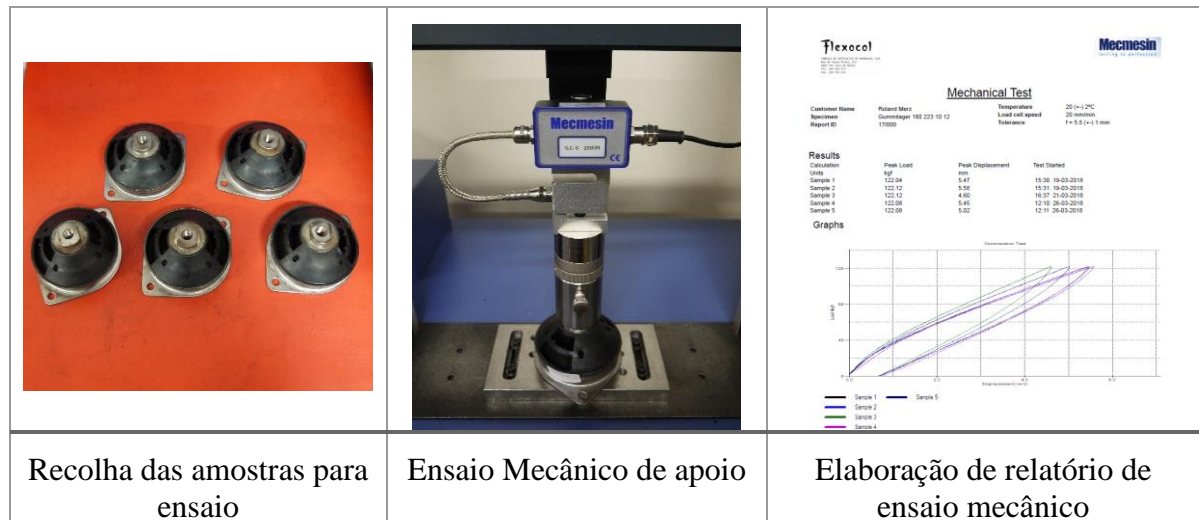


Figura 30 - Processo de ensaio mecânico dos apoios amortecedores, Flexocol 2018.

Este ponto será mais explorado no *Capítulo 4, ponto 4.2.1 – Procedimento do ensaio mecânico*.

3.6 Acabamento

Nesta fase do processo, é retirado o excesso de borracha em torno da peça vulcanizada.

No caso dos apoios amortecedores ocorre a necessidade de limpeza adicional das peças em torno mecânico ou furador vertical, sendo as mesmas levadas para a *Serralharia*, figura 31.

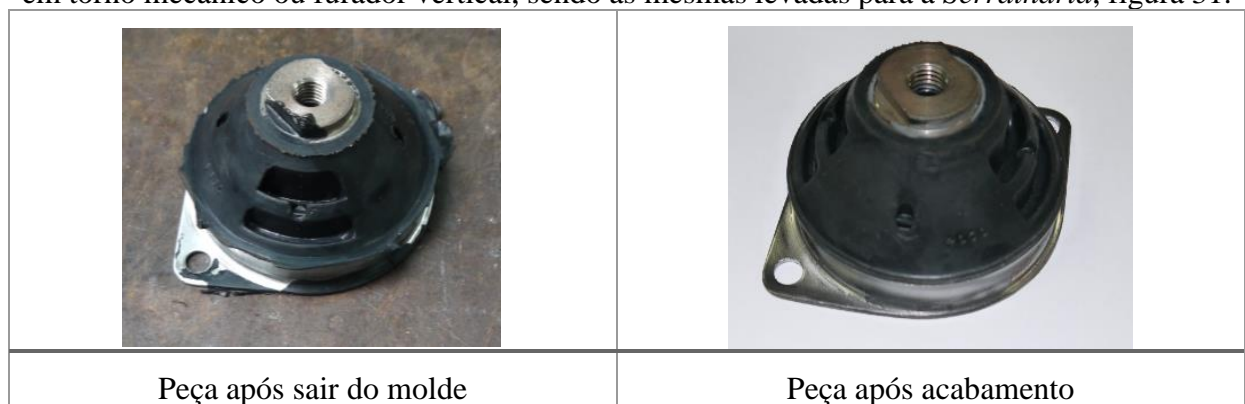


Figura 31 - Processo de acabamento (antes e depois).

3.7 Embalamento e armazenamento

Por fim, com recurso à pistola de ar retiram-se as poeiras sobre as peças, identificam-se as referências das mesmas e embalam-se em caixa própria, figura 32. Esta fase ocorre ainda no setor do *Acabamento*, ficando as caixas armazenadas no setor: *Armazém de Expedição*.



Figura 32 - Palete com várias caixas prontas.

4 Análise ao estado atual de qualidade

4.1 Introdução

A análise ao estado atual de qualidade, consiste em sujeitar as peças a um ensaio mecânico especificado pelo cliente, e posteriormente, analisar a taxa de conformidade/ não conformidade obtida, detetando erros e/ou defeitos de fabrico, para que se possa partir futuramente para uma melhoria da qualidade do processo.

4.2 Controlo por ensaio mecânico

Com recurso a um equipamento de ensaio à compressão e tração da Mecmesin®, disponível na empresa, figura 33, e seguindo um procedimento de ensaio mecânico, estipulado pelo cliente, foram realizados os ensaios mecânicos, medindo-se o deslocamento da peça no eixo vertical, daqui em diante designada “flecha”, quando sujeita a um esforço de compressão também vertical.

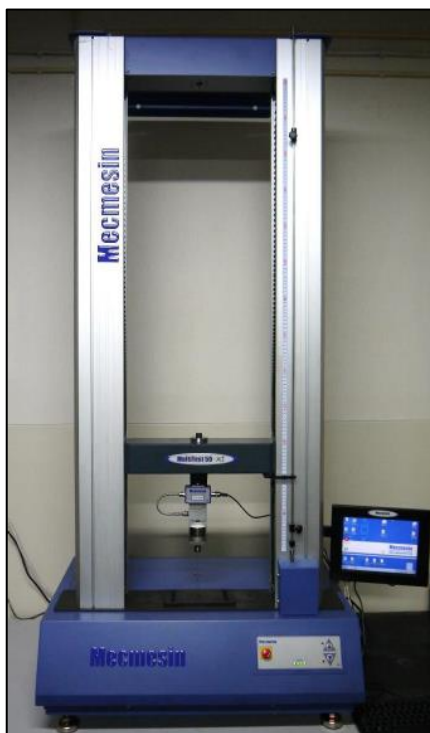


Figura 33 - Equipamento de ensaios mecânicos: MultiTest 50 – xt.

Na tabela 5 pode ver-se as especificações do equipamento de ensaios, e célula de carga.

Tabela 5 - Especificação técnica do equipamento de ensaios.

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO EQUIPAMENTO DE ENSAIOS	
Distância entre colunas	420 mm
Comprimento máximo de amostra	1330 mm
Peso do equipamento	290 kg
Capacidade máxima da célula de carga	2500 N
Velocidade máxima da célula de carga	400 mm/min
Sensibilidade da medição	0,01 kgf

O objetivo deste capítulo passa por efetuar um diagnóstico ao nível de qualidade presenciado, retirando os dados úteis e elaborando propostas para uma melhoria do processo.

4.2.1 Procedimento do ensaio mecânico

Os ensaios experimentais que se seguem têm por base um procedimento de ensaio mecânico, a executar da seguinte forma:

1. A peça é limpa de possíveis poeiras ou rebarbas superficiais, que possam influenciar um assentamento horizontal da peça, sobre a mesa da máquina de ensaios;
2. A peça é então colocada concentricamente relativamente à célula de carga, figura 34;
3. Em seguida, a célula de carga desce a uma velocidade de 10 mm/min até o sensor detetar uma carga de contacto de 2 kgf, sendo esta posição correspondente à posição de partida do ensaio, (equipamento tara automaticamente).
4. Posteriormente, a célula inicia o seu movimento descendente constante, registando o deslocamento verificado na peça, a uma velocidade de 20 mm/min.
5. A célula executa o ensaio de compressão até ao momento de deteção da carga especificada no ensaio, neste caso 125 kgf, figura 34,
6. Atingido o ponto de carga máximo, a célula de carga regressa à sua posição de início do ensaio, para se proceder à troca de amostras.

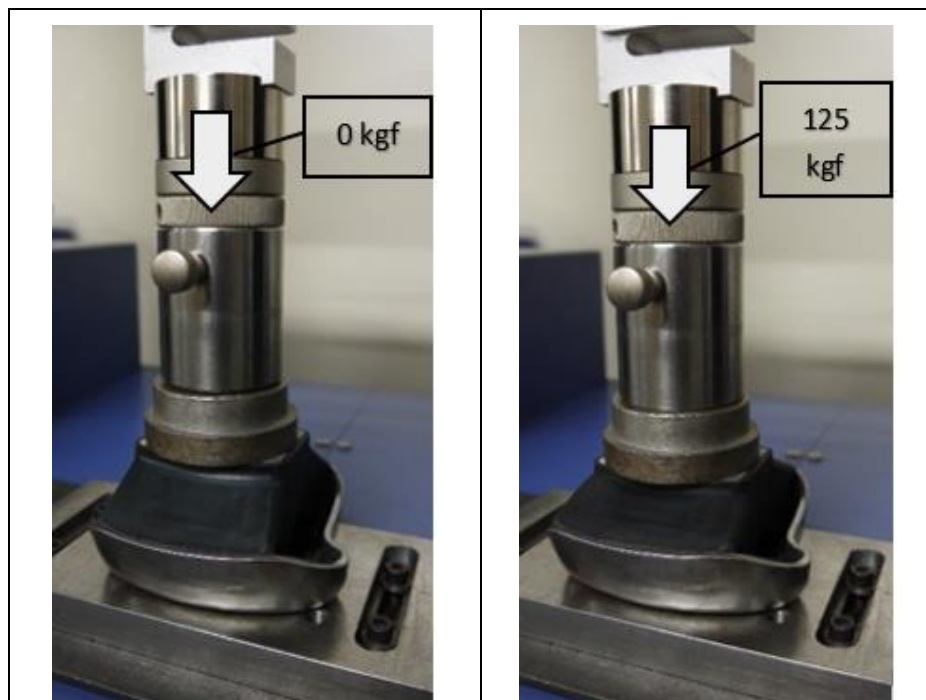


Figura 34 - Peça com e sem carga, durante ensaio mecânico.

4.2.2 Critério para controlo de qualidade das peças

Respeitando a normalização de tratamento das amostras, presente no *capítulo 2, ponto 2.3.3*, e uma vez que as peças eram recolhidas no dia seguinte à sua fabricação, sendo posteriormente levadas para a sala de ensaios, definiu-se a seguinte janela temporal para recolha de resultados para ensaio mecânico: 36h a 72h após vulcanização.

Os ensaios que se seguem foram realizados a 100 % das peças, em cada uma das fases em análise, e no período indicado em cada uma delas.

O critério adotado levará a casos em que a análise dos resultados poderá conter mais dados em comparação com outras peças produzidas no mesmo período. A causa desta variação prende-se, sobretudo, com quebras nos fornecimentos de parte metálica, inexistência de remessas de borracha aprovadas e paragem do equipamento para manutenção.

Os ensaios experimentais que se seguem foram realizados para as três peças em estudo, tendo por base a especificação do cliente, relativo ao ensaio mecânico de determinação da flecha por compressão da peça, indicada na tabela 6.

Tabela 6 - Especificação do cliente - Ensaio Mecânicos.

	AP-1012	AP-0112	AP-2213
Carga a aplicar	120 kgf	100 kgf	125 kg
Flecha a obter	$5,5 \pm 1,0$ mm	$9,0 \pm 1,4$ mm	$7,0 \pm 1,0$ mm

Da especificação do ensaio mecânico é de destacar menor rigor para a peça AP-0112 pela maior tolerância, mais concretamente 2,8 mm.

Por outro lado, para restantes peças de menor tolerância, 2 mm, destaca-se a peça AP-1012 pelo menor desvio face ao valor esperado de flecha (5,5 mm).

4.2.3 Considerações prévias à análise do ensaio mecânico

No atual sistema de fabrico de remessas da empresa, é no setor *Mistura* que são preparadas remessas de aproximadamente 10-12kg de composto de borracha, passando por uma aprovação química antes de passarem para o setor *Vulcanização*, onde a remessa é cortada, pesada, e introduzida no molde por compressão.

Como apresentado no Capítulo 3, a remessa de borracha usada no fabrico da peça segue uma formulação química, contudo, existe sempre variabilidade no processo, originada pelos seguintes fatores:

1. A heterogeneidade intrínseca da borracha e ingredientes adicionados, provoca inevitavelmente uma remessa com desvios significativos da dureza pretendida;
2. Por vezes, quando a remessa não apresenta a dureza desejada é novamente levada para o setor da Mistura para ser corrigida. Esta correção leva ao reaquecimento da borracha e a uma introdução de compostos, como óleo ou negro de fumo, numa marcha³ diferente da utilizada para uma remessa que se prepara desde o início;
3. O controlo da remessa é executado por controlo reométrico e por medição da dureza. Enquanto o controlo reométrico é automático, a classificação da remessa com a dureza (Shore A) é um processo de medição manual, existindo por isso variabilidade.
4. Outro fator, mas menos provável: devido à inexistência de um espaço confinado para armazenamento de remessas de borracha, em ambiente industrial, pode ocorrer fenómenos de contaminação por parte de poeiras metálicas ou desperdícios de borracha proveniente de outro processo de fabrico.
5. Por último, no processo de aprovação de remessas de borracha, bem como em todo o processo de fabrico, existe a possibilidade de falha humana, levando a

³ “marcha”: termo que designa “etapas de preparação de mistura”, seguindo um procedimento padrão: 1º) mistura inicial dos maioritários, 2º) incorporação dos minoritários e 3º) homogeneização da mistura.

situações como troca de ingredientes, remessas, ou troca de etiquetas da identificação de remessas.

4.3 Fase I - Estado atual do processo

Numa primeira fase foi analisada a qualidade do processo de vulcanização, comparando a flecha obtida nas peças com a especificação do cliente. Para isso, foram analisados os resultados dos ensaios das peças produzidas no período de 15/01/2018 a 14/02/2018.

De notar que o processo se encontrava definido pelos parâmetros de vulcanização apresentados na tabela 7, critério empregue em todas as peças.

Tabela 7 - Parâmetros de vulcanização - Fase I.

Temperatura de vulcanização	140	°C
Tempo de vulcanização	40	min

Nas figuras que se seguem, o termo LSE “*Limite Superior de Especificação*” e LIE “*Limite Inferior de Especificação*” é o imposto pelo cliente, e encontra-se exposto na tabela 6.

Para análise do processo de fabrico foi construído um gráfico de barras, figura 35, em que cada barra representa o resultado obtido em cada peça ensaiada, gráficos: **A.01**, **B.01** e **C.01**.

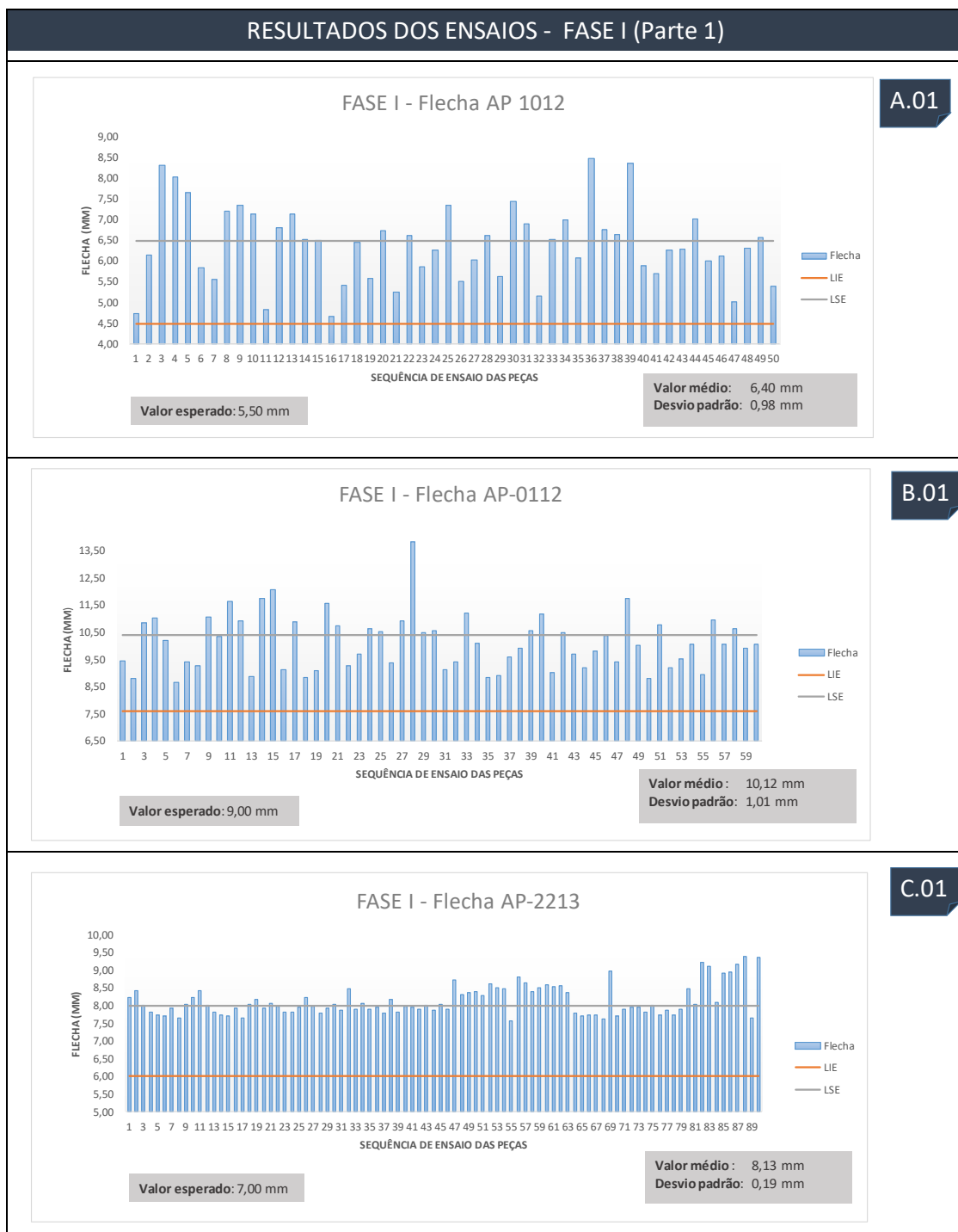


Figura 35 - Resultados dos ensaios, FASE I (Parte 1).

Numa segunda análise do processo, após medição de dureza (Shore A) nas peças vulcanizadas, constatou-se um padrão repetitivo entre elas, ou seja, verificou-se uma maior dureza na 1ª peça produzida em cada dia, traduzindo-se numa reduzida flecha relativamente às peças produzidas ao longo do dia.

Assim, por forma a verificar se o facto anterior se verifica ou não, procedeu-se a uma organização dos dados pela sua sequência de fabrico, ao longo dos 10 dias de recolha de dados, conforme se pode ver na figura 36, nos gráficos: **A.02**, **B.02** e **C.02**.



Figura 36 - Resultados dos ensaios, FASE I (Parte 2).

Os comentários seguintes têm por base os gráficos atrás apresentados: **A.01, B.01, C.01, A.02, B.02 e C.02**. Na análise seguinte, quando se refere “*peça NC*”, corresponde a toda e qualquer peça que ultrapassa os limites de especificação impostos pelo cliente, ou seja, quer o LSE quer o LIE.

COMENTÁRIOS - FASE 1	
Peça AP-1012	<p>No gráfico (A.01) verifica-se uma apresentação de resultados díspares, com grandes amplitudes entre as peças produzidas no mesmo intervalo de tempo, e com a mesma remessa de borracha. No geral, temos um processo que não está em controlo estatístico, não garantindo níveis razoáveis de qualidade</p> <p>No gráfico (A.02), verifica-se uma tendência crescente de flecha, nas peças produzidas depois da 1ª peça, uma vez que as colunas 2ª a 5ª são superiores à coluna “1ª Peça”.</p> <p>Os resultados são exemplificativos da falta de vulcanização das peças posteriores à 1ª, uma vez que deveriam todas apresentar resultados semelhantes entre si.</p>
Peça AP-0112	<p>Esta caso é semelhante ao anterior, verificando-se uma apresentação de resultados díspares (B.01), com grandes amplitudes entre peças produzidas sequencialmente, sendo a conclusão anterior aplicada neste caso, ou seja, temos um processo que requer mais controlo.</p> <p>Uma vez mais se verifica um crescimento de flecha nas peças posteriores à 1ª (B.02), decrescendo na 5ª peça, uma vez que esta é retirada do molde na segunda metade de dia, no qual ocorre um prolongamento da vulcanização</p>
Peça AP-2213	<p>Neste caso, pelos resultados apresentados em (C.01), verifica-se um problema de centramento do processo até à 46ª peça ensaiada, e um problema de variabilidade e centramento a partir da 46ª peça ensaiada.</p> <p>Verifica-se que a elevada percentagem de peças NC a partir de 46ª peça ensaiada se deve à utilização de uma nova remessa de borracha, com características diferentes da remessa anterior, o que se traduz em resultados diferentes.</p> <p>De referir que a 2ª remessa de borracha tinha sido aprovada e armazenada há mais de 30 dias. Pelo que, existe a suspeita de que um armazenamento prolongado das remessas, altera substancialmente as propriedades da borracha. Por esta razão, recomendam-se futuramente realizar um estudo para comprovar se existe ou não alteração das propriedades da remessa quando armazenada.</p> <p>No gráfico (C.02) não se verificam grandes flutuações da flecha existente em peças fabricadas ao longo do dia, pelo que não se pode concordar nem discordar quanto à razoabilidade dos parâmetros de vulcanização.</p>

Durante o período de ensaio da peça AP-2213, face à elevada taxa de peças NC, procedeu-se a um ensaio destrutivo a algumas peças que suscitavam mais dúvidas. A figura 37 corresponde a uma das peças cortadas, com maior flecha, onde se pode constatar uma zona interior mal vulcanizada.

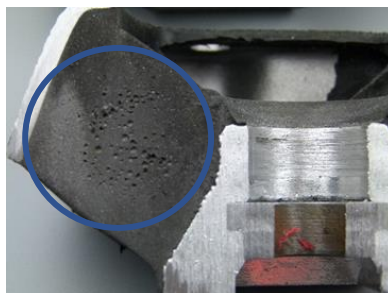


Figura 37 - Corte transversal de uma peça AP-2213.

Reunindo os resultados das observações anteriores, numa tabela resumo com a percentagem final de peças NC, tabela 8, constata-se a elevada percentagem de unidades NC, mais notória no caso da peça AP-2213.

Tabela 8 - Tabela resumo com a percentagem de peças NC, Fase I.

	AP-1012	AP-0112	AP-2213
Nº de peças ensaiadas	50	60	90
% de peças NC	30 %	37 %	43 %

Inicia-se então a discussão para encontrar os fatores que introduzem variabilidade no processo, para que seja possível partir, numa primeira fase, para uma diminuição de peças NC.

4.3.1 Conclusões Fase I

Analizados os dados acima, e após discutir as causas mais prováveis de ineficácia do processo com os responsáveis de produção, com os técnicos de controlo de qualidade e com os operadores afetos à vulcanização de peças, retiraram-se as seguintes conclusões:

- A variabilidade provocada pela heterogeneidade da matéria prima fornecida: borracha natural (NR), levou a um procura por fornecedores de borracha, que pudessem garantir uma tolerância mais apertada na dureza anunciada de cada palete de borracha, rececionada na Flexocol. Esta procura sem êxito levou à conclusão de que a variabilidade da borracha é intrínseca do seu processo e da sua constituição química, uma vez que o latex proveniente das árvores é diferente de planta em planta. Ou seja, não se conseguindo apertar a tolerância no fornecedor da borracha, ter-se-á de apertar a tolerância no pedido de dureza da borracha, no processo de fabrico interno.
- Verifica-se que a prensa onde é vulcanizado o apoio AP-2213 se apresenta com equipamento em mau estado de conservação, mais concretamente o termostato. Este equipamento deverá ser reparado ou atualizado, uma vez que a má regulação deste, interfere diretamente com os parâmetros de vulcanização da peça.
- Verifica-se que a mesma prensa não contém nenhum dispositivo para permitir a sua abertura, assim que o ciclo de vulcanização termina. A abertura da mesma é da responsabilidade do operador que por vezes está ocupado com outra prensa, o que leva a um prolongamento do tempo de vulcanização da peça, uma vez que a mesma se encontra dentro do molde. Desta forma, após discutir com o responsável de produção e os técnicos de manutenção, foi decidido instalar um temporizador, para abertura automática do equipamento no final do ciclo de vulcanização.
- Uma vez verificada a elevada percentagem de peças NC para todas as peças em análise, e após discussão com a equipa de qualidade da empresa, decidiu-se implementar um novo ponto de controlo das remessas de borracha, passando a fabricar 3 peças antes do operador iniciar a produção de peças a ritmo contínuo. Ou seja, este novo ponto de controlo irá requerer um ensaio mecânico posterior ao ensaio: 1º) reométrico e 2º) medição da dureza Shore A. Desta forma, deverão sujeitar-se as 3 peças produzidas inicialmente, a um ensaio mecânico especificado pelo cliente, os resultados da *flecha* deverão posteriormente ser comparados com os limites de especificação e deverá ser elaborada uma conclusão sobre o estado da remessa em análise. Ou seja, com base nos resultados obtidos nos ensaios mecânicos, deverá aprovar-se ou reprovar-se a remessa.
- O processo de mistura de um composto é um processo manual que não segue nenhum procedimento documentado, sendo uma tarefa da responsabilidade do operador, pelo

que este deve executar sempre da mesma forma e com o mesmo grau de homogeneidade. Contudo, pela forma como se procede esta fase, é certo dizer que existe variabilidade.

- f) Existem outros fatores externos que introduzem variabilidade, como a temperatura e humidade exterior, que variam ao longo do mês, e ao longo do ano. Contudo, esta causa não pode ser eliminada, uma vez que não se encontram formas para controlar artificialmente o ambiente industrial.

4.3.2 Ações a tomar

Pelas razões acima expostas conclui-se que era necessário aumentar a fiabilidade dos parâmetros de vulcanização, pelo que se procedeu a um recondicionamento das prensas hidráulicas, instalando novos termostatos e incorporando temporizadores novos, para abertura automática da prensa assim que termina o seu ciclo de produção.

Verifica-se que a quebra no fornecimento de parte metálica no posto do operador responsável pela vulcanização das peças, leva a pressão/stress sobre operadores e chefias, podendo traduzir-se em falhas, acidentes, entre outros. Assim, com o intuito de apoiar o planeamento da produção de partes metálicas na *Serralharia*, serão desenvolvidos documentos técnicos com uma descrição do processo e com os tempos de cada operação.

Será implementado um novo procedimento para controlo das remessas de borracha, uma vez que o paradigma atual é o controlo das mesmas pela dureza Shore A. O objetivo deste novo procedimento é adicionar um novo “filtro” ao controlo de qualidade, mais concretamente, será antecipado o ensaio mecânico no controlo da deformação da peça sobre uma carga especificada pelo cliente.

Paralelamente, no sentido de apoiar o planeamento de produção interno, realizaram-se melhorias na organização do espaço e das peças e/ou materiais envolvidos no processo de fabrico, conforme se apresenta no capítulo 5.

Mais à frente, após evidências de má vulcanização das peças em análise, serão implementados novos parâmetros de vulcanização, com intuito de prolongar o processo de vulcanização da borracha, conforme se apresenta no capítulo 6.

5 Melhorias implementadas no processo de fabrico

Este capítulo tem dois objetivos, por um lado, pretende dar resposta a alguns problemas encontrados ao longo da análise do processo de fabrico dos apoios amortecedores. Por outro lado, pretende implementar práticas para a redução da variabilidade no processo e causas de ineficácia do mesmo, causas essas apontadas no capítulo anterior.

5.1 Organização das partes metálicas a incorporar nos apoios amortecedores

Após uma análise do planeamento de produção de partes metálicas, no setor *Serralharia*, passando depois pelo chão de fábrica, e de ter discutido com o responsável e com os operadores do setor, verifica-se que uma maior organização das partes metálicas seria uma medida benéfica para melhorar o planeamento de produção.

A organização de partes metálicas em local próprio (seguindo o lema: *um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar*), tem como objetivo cimeiro a rápida identificação e contagem de partes metálicas fabricadas, promovendo igualmente um espaço arrumado e limpo.

Assim, foi realizado um levantamento de todas as partes metálicas existentes nas estantes, e foram analisados os espaços disponíveis no setor industrial para pôr em marcha um espaço limpo, arrumado e organizado.

Seguidamente, recorreu-se ao sistema informático existente na empresa, ERP - *SAGE®*, permitindo, desta forma, reunir informações quanto aos tipos de peças, com parte metálica, com maior volume de faturação nos últimos dois anos, 2017 e 2016.

Reunidas as informações atrás, foi elaborado um esboço com a localização das partes metálicas nas estantes disponíveis da *Serralharia*. Posteriormente, apresentou-se o mesmo ao chefe de secção, para que fosse possível chegar a um acordo para as novas localizações do material.

Após discussão entre todos os intervenientes, decidiu-se que as partes metálicas seriam arrumadas tendo como base a seguinte prioridade:

- I. As partes metálicas fabricadas nos últimos 2-3 anos deveriam ser arrumadas nas prateleiras centrais, de mais fácil acesso.
- II. As partes metálicas fabricadas há mais de 3 anos deveriam ser arrumadas nas prateleiras superiores e inferiores, de mais difícil acesso.
- III. Deverá existir uma separação física entre partes metálicas retangulares e circulares, para mais rápida identificação.

No Anexo C pode encontrar-se o mapa de localização de partes metálicas, implementado na estante de serralharia.

Na figura 38 apresenta-se o estado anterior e posterior à arrumação.



Figura 38 - Reorganização de partes metálicas na estante da Serralharia.

5.2 Elaboração de documentos técnicos de fabrico

Uma vez que não existia nenhum documento relativo ao modo de fabrico das peças produzidas por vulcanização, e necessitando-se de um documento que agregasse o *know-how* dos trabalhadores mais experientes na preparação da parte metálica, juntamente com a cotas de maior rigor, foi elaborado um documento com os tempos e métodos de fabrico, para as peças em estudo.

Este documento servirá para documentar o processo de fabrico das partes metálicas fabricadas na *Serralharia*, mais concretamente para o caso dos apoios amortecedores, paralelamente irá também apoiar o responsável pelo planeamento da produção, a ter dados quantitativos do consumo de tempos e matéria-prima consumida.

No anexo D é possível visualizar os documentos elaborados com informação útil e fundamental ao fabrico de apoios amortecedores, contendo:

- Identificação da peça;
- Designação da operação;
- Tempo de operação;
- Identificação da máquina responsável, e parâmetros de operação;

- Identificação das ferramentas necessárias ao fabrico;
- Identificação das zonas para controlo de qualidade; e
- Outras informações relevantes.

5.3 Melhoria do processo de fabrico - partes metálicas

Este ponto foi motivado pelas quebras de produção de peças, no setor da *Vulcanização*, que tiveram como causa: quebras no fornecimento de partes metálicas, fabricadas no setor *Serralharia*.

Assim, tendo como objetivo final a redução do tempo de fabrico das partes metálicas em estudo, incorporadas nas peças: AP-1012; AP-0112; AP-2213, realizou-se uma análise ao tempo das operações executadas no setor da *Serralharia*, envolvidas na fabricação das partes metálicas.

Desta forma, tendo por base os documentos elaborados anteriormente: “*Ficha de Produção Partes Metálicas*” para as três peças em estudo, e após destacar as operações principais, construiu-se o gráfico circular da figura 39:

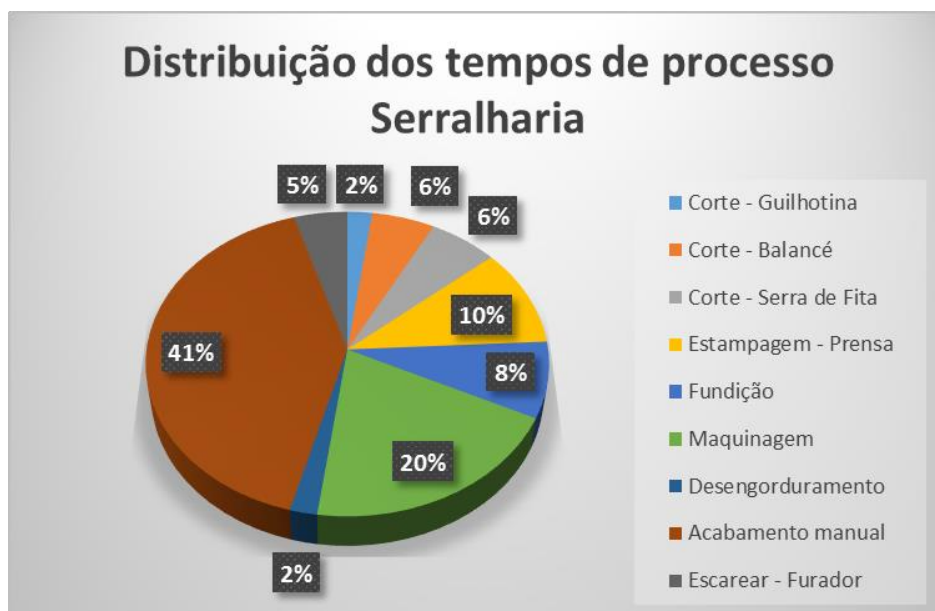





Figura 39 - Distribuição média dos tempos de processo nas partes metálicas.

Verifica-se que, para as peças em estudo, 41% do tempo de preparação de partes metálicas está no “*Acabamento*” das mesmas, pelo que esta será a operação em estudo.

Após discussão com o responsável da serralharia, e procura por soluções no mercado de equipamentos destinados ao acabamento de peças metálicas, ajustados às quantidades reduzidas e diversas de peças para rebarbar na empresa, surgiram diversas soluções, destacando-se as mesmas na tabela 9.

Tabela 9 - Soluções encontradas no mercado para remoção de rebarba [42].

Solução proposta	Designação	Função
	Solução A: Mesa Lixadora Horizontal e Vertical	A lixadora tem uma cabeça giratória que permite a fixação vertical e horizontal. Possui uma mesa ajustável em ângulo e em altura, para acabamentos mais rigorosos
	Solução B: Lixador com duas estações	O equipamento está configurado para polimento e lixamento de superfícies, contudo, é configurável com outros discos de remoção de rebarba ou preparação de superfícies
	Solução C: Lixadora de bancada flexível	Equipamento de bancada flexível. Ideal para acabamento, remoção de soldas, rebarba, ou peças maquinadas.

Analisando, quer as soluções apresentadas acima, quer o vasto leque de peças fabricadas na *Serralharia* da Flexocol, verifica-se que muitas das peças são estampadas, o que dificulta o seu acabamento por cinta de lixa, portanto, após discussão com o responsável pela serralharia da Flexocol, decidiu-se procurar por discos com a capacidade de lixar no interior de cavidades, sendo encontrada a seguinte solução, apresentada na figura 40.



Figura 40 - Equipamento manual para lixar peças de grande dimensão [43].

Após discussão com o comercial que apresentou o equipamento “Lixador com duas estações” (Solução B), verifica-se a possibilidade de implementar um disco de lixa semelhante ao da figura 40, no equipamento.

Assim, tendo sido encontrada uma solução viável para atualização do processo de acabamento, o próximo passo consistiu em avançar para uma fase de ensaios, onde se testou o equipamento em vista, com o disco de lixa indicado.

Assim, após agendamento e visita às instalações do fornecedor e fabricante do equipamento: *NS Máquinas Industriais Lda*, confirmou-se que o equipamento proposto cumpria com o trabalho que se pretendia, tendo removido a rebarba às peças ensaiadas em 1/3 do tempo, comparativamente ao acabamento manual.

Desta forma, reunidas as informações atrás, o próximo passo consistiu no cálculo do retorno esperado, com a aquisição do equipamento em análise.

O estudo de viabilidade económica seguiu os seguintes pontos:

- Contacto com a empresa fornecedora do equipamento, para fornecimento de outros detalhes técnicos do equipamento e preço de venda;
- Reunir a estimativa de ganho de tempo, com este novo equipamento;
- Análise do número de horas de trabalhado, no setor *Serralharia*, por parte dos 5 homens afetos ao setor;
- Reunir a percentagem média de tempo afeto à operação de *Acabamento manual*;
- Reunir o valor do custo hora no setor *Serralharia*; e
- Análise à percentagem de tempo de *Acabamento* que é possível executar com este novo equipamento.

Antes de avançar com o cálculo do investimento a propor, calculou-se na tabela 10 a “percentagem média de tempo de Acabamento que é possível substituir”, para que seja futuramente feito com recurso a este novo equipamento. Este parâmetro é importante uma vez que existem diversos tipos de acabamento, não sendo todos eles possíveis de substituição, por este novo processo.

Uma vez mais, tendo por base os documentos elaborados anteriormente: “*Ficha de Produção Partes Metálicas*” para as três peças em estudo, foram divididos os tempos de acabamento total de cada peça, em três categorias de acabamento, tabela 10.

De notar que o equipamento em estudo apenas substitui o acabamento que se faz de forma manual, em material duro, por exemplo em aço. Já o mesmo não acontece no acabamento das peças metálicas em alumínio, não substituindo também o acabamento em torno mecânico.

Tabela 10 - Cálculo de percentagem do acabamento passível de sofrer renovação.

	AP-1012	AP-0112	AP-2213
(Tipo 1) Acabamento manual em aço	130 segundos	240 segundos	300 segundos
(Tipo 2) Acabamento manual outros materiais		180 segundos	150 segundos
(Tipo 3) Acabamento em torno mecânico	75 segundos		150 segundos
Percentagem de operações a substituir:	63%	57%	50%
Média das percentagens:	57%		

Reunindo todas as informações atrás enunciadas, elaborou-se um cálculo para análise do investimento relativamente ao retorno financeiro esperado.

De notar que o cálculo teve como pressuposto o número total anual de horas, trabalhadas pelos 5 homens no setor Serralharia, para um total de 220 dias úteis e 8 horas diárias por turno, tabela 11.

Tabela 11 - Cálculo do número de horas de acabamento manual.

Descrição	Quantidade
Número de horas trabalhadas na Serralharia (5 pessoas)	8800
Percentagem média de tempo afeto à operação - Acabamento	41%
Nº de horas médio afeto ao - Acabamento	3608
Percentagem do tempo de Acabamento passível de renovação	57%
Nº de horas final – Só Acabamento	2057

Obtendo-se um total de 2057 horas de acabamento manual, possível de melhoramento, calcula-se em seguida o retorno esperado do investimento, efetuando uma análise paralela do custo desta operação, quer no modo de fabrico atual, quer no modo de fabrico futuro, com a incorporação do equipamento no processo de fabrico da empresa, tabela 12.

De referir que a tabela 12 teve como pressuposto o facto de 1 ano corresponder a 11 meses de trabalho na *Serralharia*. O *Pay back* (retorno) é calculado dividindo-se o custo de aquisição do equipamento pela diferença mensal entre o custo atual e o custo previsto.

Tabela 12 - Cálculo do retorno esperado do investimento.

Posto: Acabamento	Equipamento Atual	Equipamento Previsto (3 x mais rápido)
Nº de Horas trabalhadas / ano	2057	685.7
Nº de Horas trabalhadas / mês	187	62
Custo hora do posto	12,00 €	12,00 €
Total Custo Posto / mês	2 244 €	744 €
Diferença (mês)	1 500,00 €	
Custo do equipamento	5 500,00 €	
Pay back	3.67	

Após cálculo efetuado, prevê-se que o retorno do investimento é atingido no 4º mês após incorporado nas operações da *Serralharia*.

5.4 Alteração do procedimento de controlo de qualidade

Após serem verificadas várias fontes de ineficácia no processo, e após discussão com: responsável de produção, responsável de qualidade e técnicos, elaborou-se um procedimento de trabalho, em forma de fluxograma, para controlo de qualidade das remessas de borracha.

O procedimento, deverá ser implementado sempre que a peça apresente um controlo de qualidade por ensaio mecânico, especificado pelo cliente.

A diferença entre o procedimento proposto e o atualmente em vigor na empresa, encontra-se na necessidade de aprovação da remessa de borracha pelo técnico de ensaios mecânicos. Antes apenas existia aprovação pelo técnico responsável pelos ensaios: 1º) reométrico e 2º) medição da dureza Shore A.

Desta forma, espera-se diminuir o número de unidades NC, uma vez que se pode conhecer mais precocemente o resultado das características físicas de determinada remessa de borracha na peça em fabrico, evitando-se situações em que se deteta que a remessa está demasiado dura ou molde após dois dias de fabrico de peças, uma vez que os ensaios só são realizados 48h após o processo de vulcanização ter terminado.

Na figura 41 está representado o procedimento elaborado, neste caso, para uma borracha de D53 (Shore A), mas que se aplica a todas as gamas de dureza produzidas na empresa.

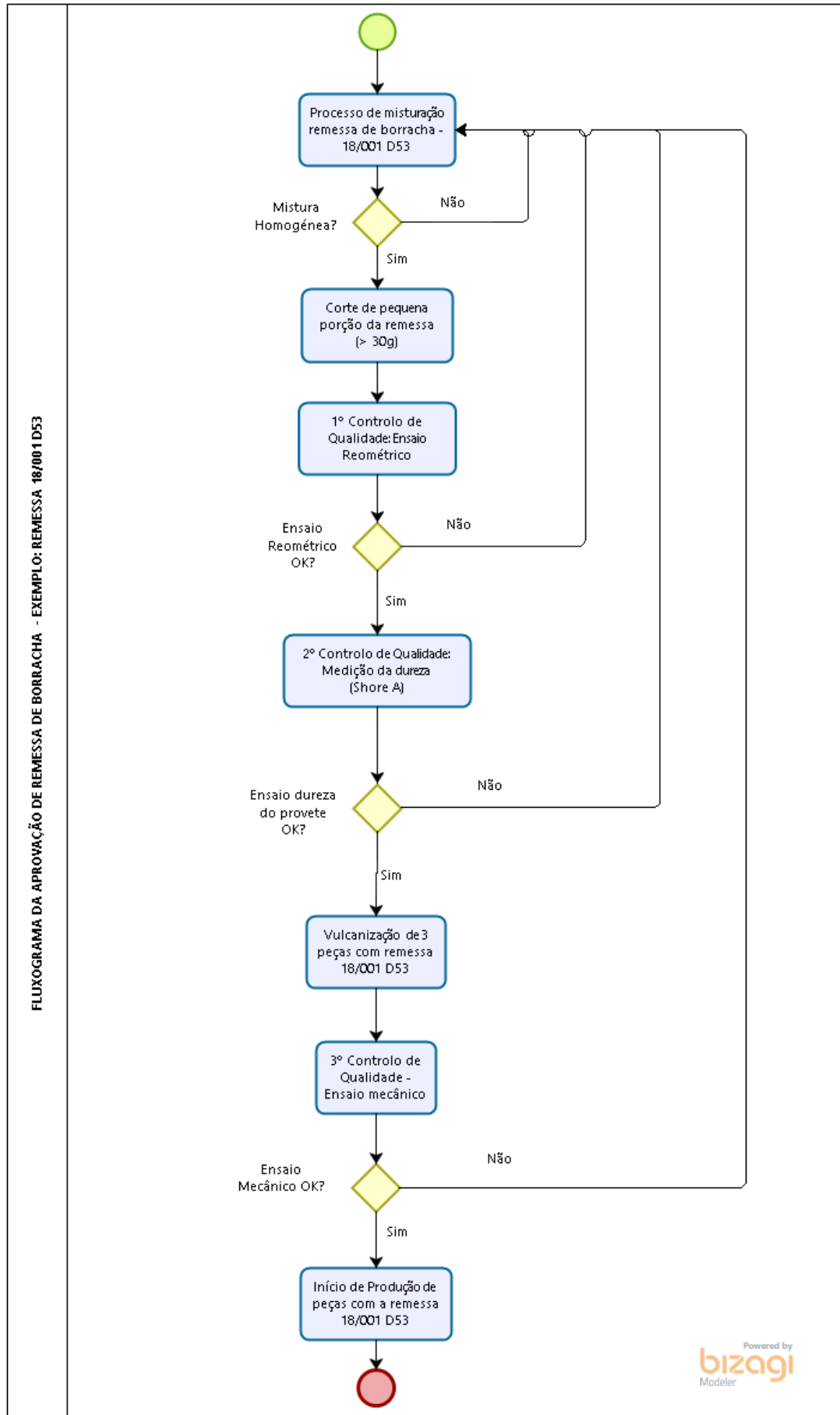


Figura 41 - Procedimento para controlo de qualidade das remessas de borracha.

5.5 Melhoria no controlo de parâmetro de Vulcanização

Verifica-se uma incerteza no controlo dos parâmetros de vulcanização, fundamentada pelos resultados inconsistentes verificados na *Fase I – Estado atual do processo*. Os principais motivos prendem-se com dispositivos de controlo degradados e com falta de manutenção.

Pelos motivos apresentados, é de grande importância no processo de vulcanização, garantir controladores de processo reparados ou atualizados, para que se melhore a qualidade durante a vulcanização dos apoios amortecedores.

Após discussão com a equipa de manutenção, ao que se seguiu uma aprovação pelo responsável de produção, foi instalado um controlador de temperatura PID, substituindo o anterior controlador P, figura 42.

Para controlo do tempo de vulcanização, instalou-se um temporizador digital juntamente com um dispositivo de abertura automática da prensa no final do ciclo de vulcanização, neste caso, após 40 minutos do fecho da prensa, figura 42.

Desta forma espera-se garantir um melhor controlo dos parâmetros em análise: tempo e temperatura de vulcanização.

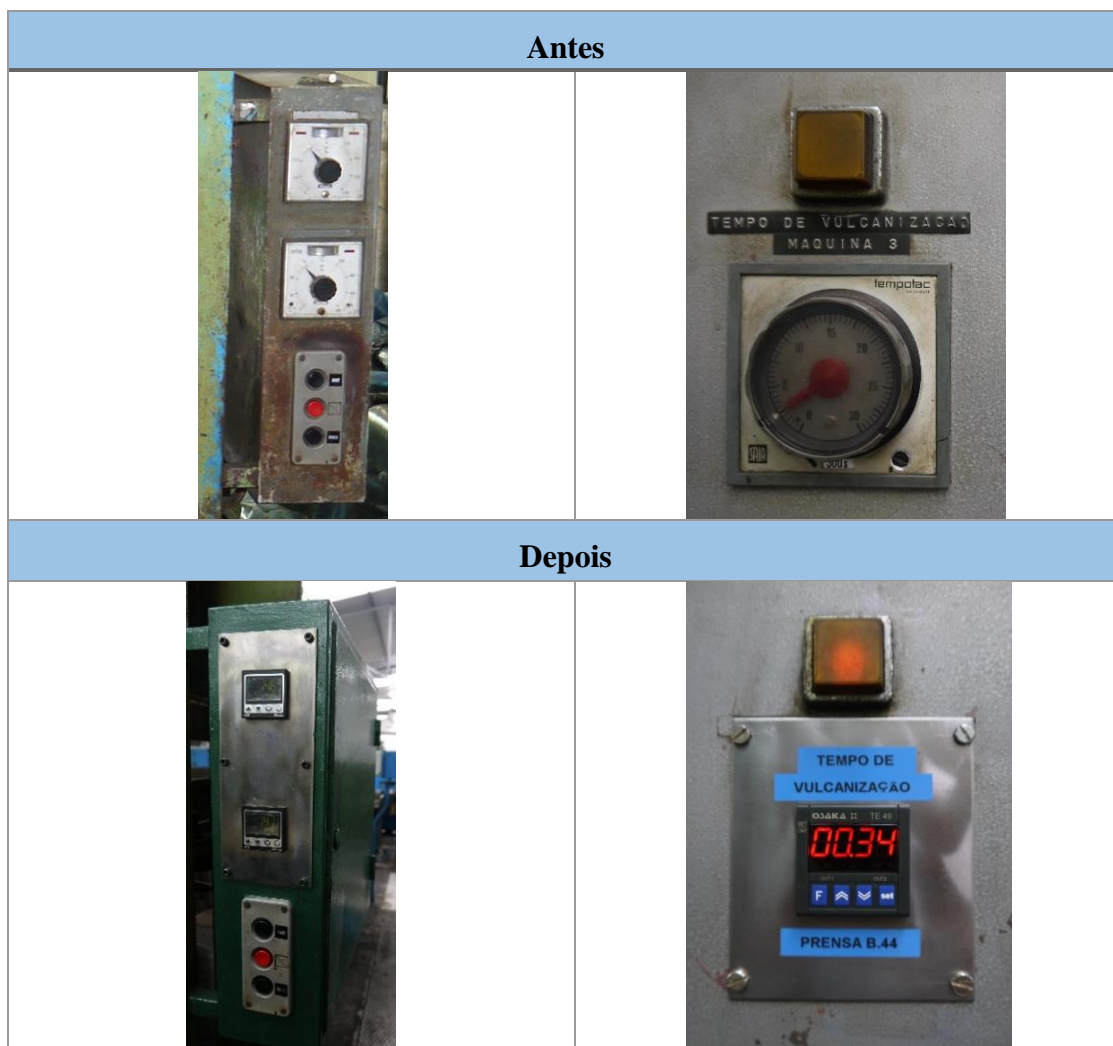


Figura 42 - Renovação prensa hidráulica com termostato PID e temporizador.

6 Trabalho Experimental

6.1 Introdução

O objetivo do trabalho experimental que se segue é estudar a influência dos parâmetros de vulcanização, tempo e temperatura, no comportamento mecânico das peças produzidas.

O trabalho experimental consiste num controlo das características físicas da borracha, após vulcanizar, sujeitando as peças a um ensaio mecânico especificado pelo cliente.

Por peça NC (Não Conforme) entende-se toda e qualquer peça que não cumpre a especificação imposta pelo cliente, relativamente ao requisito da flecha, exposta na tabela 6.

Após a análise do estado atual de qualidade das peças em estudo, efetuado no capítulo 4, procede-se agora, à melhoria da qualidade e produtividade no fabrico das peças, recorrendo-se à alteração dos parâmetros de vulcanização.

O objetivo final deste capítulo é melhorar a qualidade no processo de vulcanização, conhecendo: tempos e temperaturas ótimas de vulcanização. Tendo o processo estabilizado, pretende-se iniciar igualmente um processo de melhoria da produtividade.

6.2 Fase II - Alteração inicial nos parâmetros de vulcanização

Verificando-se uma vulcanização incompleta, pelas razões expostas no capítulo 4, foram implementados novos parâmetros, tendo-se aumentando o tempo e temperatura de vulcanização, conforme se apresenta na tabela 13.

Tabela 13 - Parâmetros de vulcanização - Fase II.

Parâmetros FASE I			Parâmetros FASE II			Variação
Temperatura Vulc.	140	°C	Temperatura Vulc.	145	°C	+ 5 °C
Tempo Vulc.	40	min	Tempo Vulc.	45	min	+ 5 min

Esta fase de ensaios decorreu de 15/02/2018 a 19/02/2018, e tem-se como objetivo principal a comparação com os resultados obtidos anteriormente, analisando-se se a falta de qualidade no processo está relacionada com a vulcanização incompleta da peça.

A apresentação dos resultados na figura 43, inclui novamente os termos: LSE “*Limite Superior de Especificação*” e LIE “*Limite Inferior de Especificação*”, especificados pelo cliente.

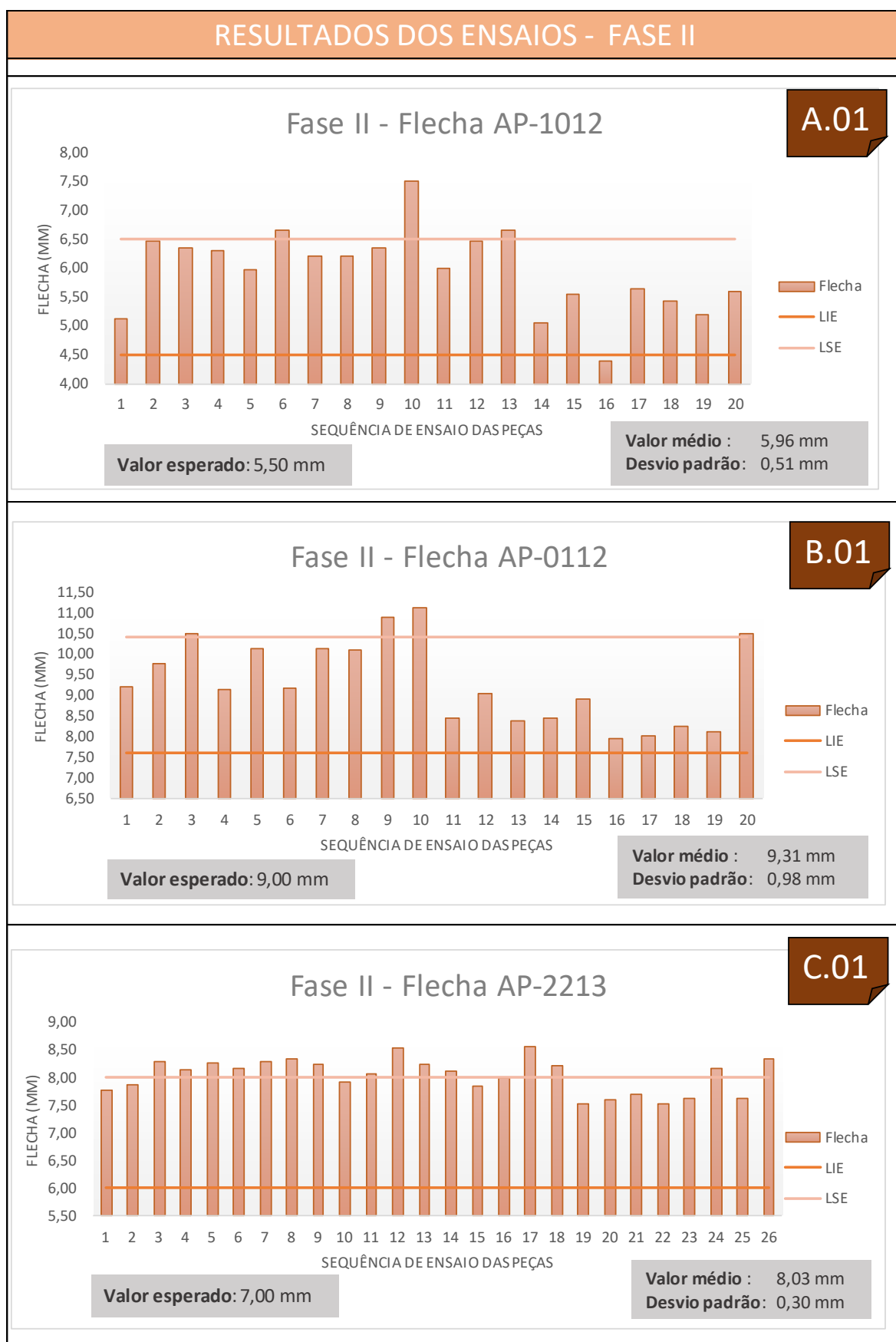


Figura 43 - Resultados dos ensaios, FASE II.

COMENTÁRIOS - FASE II	
Peça AP-1012	<p>Neste gráfico (A.01) comprova-se que a percentagem de peças NC ainda se mantém elevada, verificando-se uma elevada amplitude de flecha, a partir da 13ª peça ensaiada. A causa da variação é desconhecida, uma vez que a causa mais provável de variação, remessa de borracha, foi a mesma em todo o período considerado.</p> <p>Por outro lado, a dispersão dos valores de flecha transparece uma vulcanização ineficaz das peças.</p>
Peça AP-0112	<p>No caso de (B.01) pode constatar-se uma melhoria de qualidade, uma vez que a percentagem de peças NC diminui nos últimos dois dias. Contudo, analisando a dispersão de valores obtidos, verifica-se uma grande amplitude de valores, o que não permite afirmar, para já, que o processo de vulcanização está controlado.</p>
Peça AP-2213	<p>Por último, analisando a peça AP-2213 (C.01), constata-se um aumento de peças NC, em termos percentuais existem 56% das peças fora do intervalo, o que corresponde a um valor superior, comparando com o obtido na FASE I de 43%.</p> <p>Numa análise mais atenta verifica-se que a remessa de borracha passou pelo processo de <i>reprocessamento</i>, ou seja, não obtendo o valor pretendido de dureza, a remessa sofreu correção da proporção dos ingredientes. Este acontecimento provoca variabilidade no processo, explicado pelo aumento negativo do desvio padrão de 0,19 na FASE I, para 0,3 na FASE II.</p> <p>Apesar da elevada percentagem de peças NC, o reduzido desvio de flechas entre peças indica-nos que as peças apresentam uma grande semelhança entre si, mais concretamente na rigidez, o que permite concluir que a vulcanização ocorreu da mesma forma para as peças vulcanizadas no período em análise.</p>

Analisando agora a evolução da taxa de NC, na tabela 14:

Tabela 14 - Comparação percentual das peças NC na Fase I e II.

	AP-1012	AP-0112	AP-2213
Fase I - Percentagem de peças NC 140 °C & 40 min	30 %	37 %	43 %
Fase II - Percentagem de peças NC 145 °C & 45 min	20 %	25%	56 %

A tabela comparativa acima não permite destacar uma evolução positiva para a peça AP-2213, uma vez que grande parte dos valores de flecha ainda se encontram fora dos limites de especificação.

Por outro lado, existe um decréscimo da percentagem de peças NC no caso das peças AP-1012 e AP-0112.

6.2.1 Conclusões Fase II

- Uma vez verificado um aumento da percentagem de peças NC para a peça AP-2213, deverá reduzir-se o intervalo de aceitação da mesma no controlo de qualidade reométrico, devendo pedir-se uma borracha de dureza mais elevada, para que quando se fabrique esta peça, os valores de flecha se aproximem do nível médio do intervalo de especificação: $7 (\pm 1)$ mm.
- Relativamente à peça AP-1012 e AP-0112 verifica-se uma diminuição percentual das peças NC, recorrendo para isso a uma vulcanização mais prolongada, e a uma temperatura superior. Então, o próximo passo passou por alertar os responsáveis pela aprovação das remessas de borracha, por ensaio mecânico, que os parâmetros usados na aprovação das remessas antigas eram incorretos, pelo que se deveria realizar-se novo controlo de qualidade às remessas.
- Para além disso, o controlo de qualidade das remessas pela característica dureza, Shore A, da borracha, também deverá ser alterada, no sentido em que as durezas previamente definidas para cada uma das peças está incorreta, devendo ser aumentada.
- Em suma, os resultados são insatisfatórios, não porque o controlo de qualidade estava a ser feito incorretamente, mas sim porque a vulcanização não se estava a proceder da forma completa. Ou seja, com uma vulcanização incompleta, a rigidez da peça é uma interrogação, o que leva a que a que o técnico responsável pelo ensaio mecânico das peças possa ter uma conclusão errada para a aprovação ou não da remessa.

6.2.2 Ações a tomar

Apesar dos resultados anteriores mostrarem uma melhoria da qualidade, não se atingiu ainda o objetivo esperado, pelo que se procedeu a uma nova correção dos parâmetros. Assim, será aumentando consideravelmente o tempo de vulcanização, de forma a assegurar uma vulcanização completa para todos as peças, pois pensa-se que os defeitos ocorrem por falta de tempo.

6.3 Fase III - Alteração substancial dos parâmetros de vulcanização

Nesta nova fase, após uma sistematização do processo de aprovação de remessas de borracha e, após uma correção das durezas (ponto discutido na Fase II), decidiu-se aumentar apenas o tempo de vulcanização.

O objetivo desta medida foi começar a eliminar os indicadores principais de variação do processo, para poder iniciar, posteriormente, o estudo de outros indicadores chave do processo.

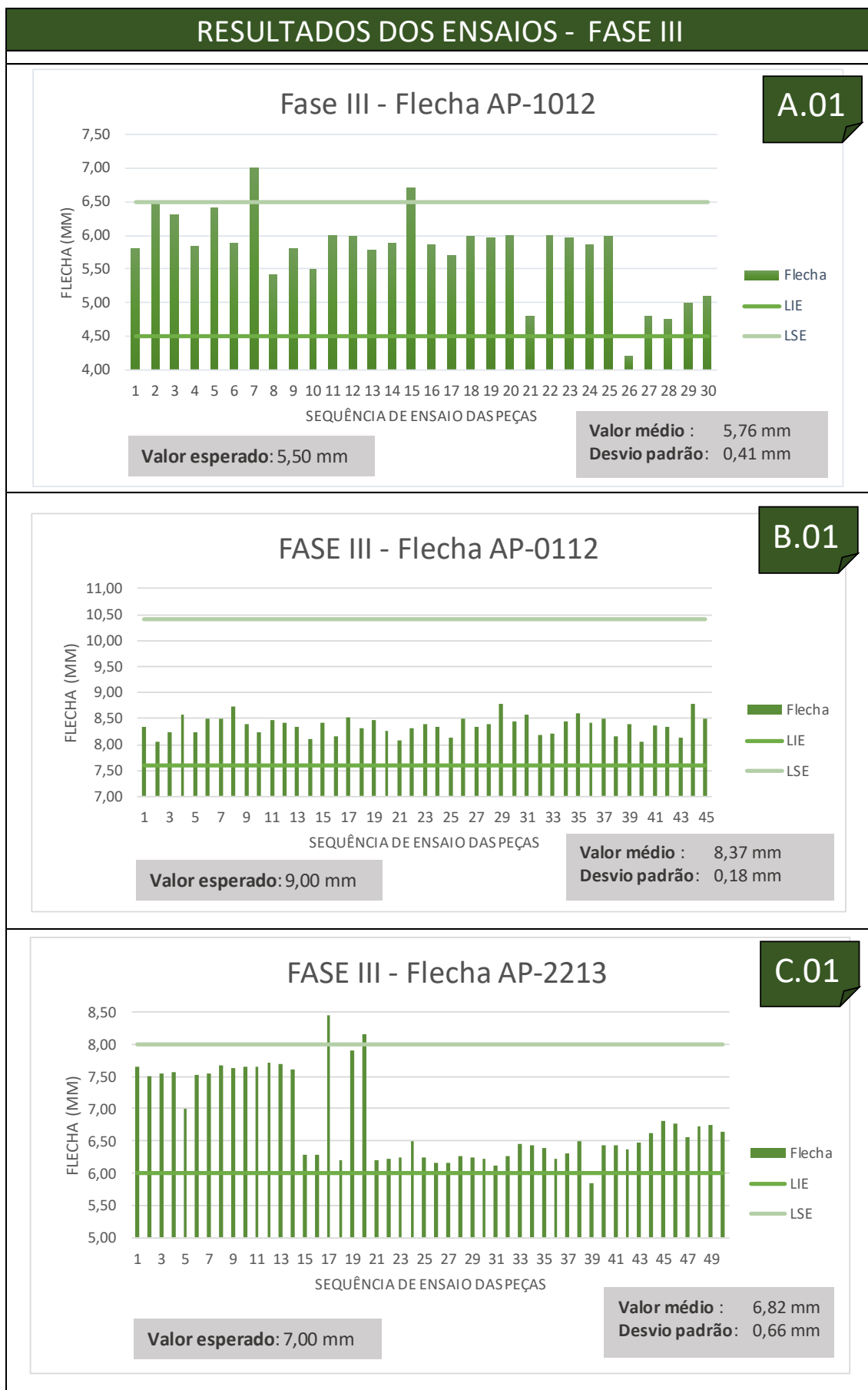
Assim, os novos parâmetros de vulcanização têm como objetivo uma garantia de vulcanização. O motivo pelo qual não se subiu o parâmetro temperatura, foi para análise isolada do parâmetro: tempo de vulcanização.

Tem-se os novos parâmetros de vulcanização na tabela 15.

Tabela 15 - Parâmetros de vulcanização - Fase III.

Parâmetros FASE II			Parâmetros FASE III			Variação
Temperatura Vulc.	145	°C	Temperatura Vulc.	145	°C	0
Tempo Vulc.	45	min	Tempo Vulc.	60	min	+ 15 min

Esta fase de ensaios decorreu de 20/02/2018 a 02/03/2018, com o intuito de estudar a influência do tempo de vulcanização. Os resultados dos ensaios podem ser consultados na figura 44.


C.01

FASE III - Flecha AP-2213

Valor esperado: 7,00 mm

Valor médio : 6,82 mm
Desvio padrão: 0,66 mm

Figura 44 - Resultados dos ensaios, FASE III.

COMENTÁRIOS - FASE III	
Peça AP-1012	Pode constatar-se uma melhoria de qualidade (A.01), uma vez que a maioria das peças se encontra dentro do intervalo considerado. Contudo, é de destacar a variabilidade existente, traduzindo-se num desvio padrão elevado, mais concretamente 0.578.
Peça AP-0112	O gráfico (B.01) é um exemplo claro da reduzida dispersão entre peças produzidas com borracha proveniente da mesma remessa. Tem-se um desvio padrão de 0.18. Apesar do processo não estar centrado, a reduzida variabilidade permite obter uma percentagem de unidades NC de 0%.
Peça AP-2213	<p>Da análise do gráfico (C.01) é de referir a utilização de remessas diferentes ao longo da produção das peças, ou seja, a partir da peça nº18 existiu uma troca de remessa, razão pela qual se verifica uma alteração do nível médio de flecha.</p> <p>De notar que entre a peça nº15 e nº21 existe uma finalização de remessa de borracha, iniciando-se em seguida outra remessa que estava previamente armazenada. Este acontecimento traz consigo destabilização ao controlo de qualidade, pelo que após discussão com o operador, verificou-se uma mistura de pequenos pedaços da remessa anterior com a remessa a entrar em utilização.</p> <p>Verifica-se também uma peça fora de especificação, nº39, as causas da não conformidade são variadíssimas, podendo a causa mais provável ser uma alteração dos parâmetros de vulcanização causada pelo equipamento, ou pelo operador.</p>

Na tabela 16 pode analisar-se a percentagem de peças NC, agora com a Fase III concluída:

Tabela 16 - Comparação percentual das peças NC na Fase I, II e III.

	AP-1012	AP-0112	AP-2213
Fase I - Percentagem de peças NC 140 °C & 40 min	30 %	37 %	43 %
Fase II - Percentagem de peças NC 145 °C & 45 min	20 %	25%	56 %
Fase III - Percentagem de peças NC 145 °C & 60 min	10%	0 %	6%

6.3.1 Conclusões FASE III

Analizados os dados acima, e após discussão interna entre os intervenientes no processo, conclui-se:

- A alteração do tempo de vulcanização foi uma boa medida, resultando numa melhoria substancial da qualidade do processo de vulcanização.

- b) Conclui-se que uma mesma alteração nos parâmetros de vulcanização apresenta resultados diferentes em peças diferentes, pelo que o objetivo futuro passa por encontrar qual o tempo ideal de vulcanização.

6.3.2 Ações a tomar

Os resultados anteriores mostram uma clara melhoria da qualidade, contudo, deverá iniciar-se um ensaio experimental onde se variam temperaturas e tempos de vulcanização para encontrar as melhores condições de vulcanização, para cada uma das peças.

Paralelamente será iniciado um estudo de produtividade do processo para que se consiga o melhor desempenho produtivo possível, respeitando o tempo de vulcanização suficiente, de forma a que não ocorram defeitos, tendo como exemplo o caso da peça AP-0112, onde o objetivo de 0 unidades NC é atingido.

6.4 Fase IV - Afinação do processo e estudo de produtividade

Nesta última fase de ensaios procedeu-se a uma análise individual das peças, uma vez que se verifica nas fases anteriores, que uma mesma alteração de parâmetros, resulta num estado de vulcanização diferente nas peças.

Numa primeira fase, para inspecionar se o processo de vulcanização necessitava efetivamente de mais tempo de vulcanização ou não, pediu-se ao setor da *Vulcanização* que fabricasse um lote de peças, com diferentes tempos de vulcanização, a uma temperatura padrão de 150 °C.

Numa segunda fase, para todas as peças em análise, foi fabricado mais um lote de peças, variando a temperatura, tendo por base um tempo indicativo de vulcanização, apurado na primeira fase de ensaios.

Em ambas as fases, pediu-se uma produção de peças usando a mesma remessa de borracha, uma vez que, como concluído nas fases anteriores, a remessa de borracha é uma causa de variabilidade do processo.

Tem-se nesta 4ª Fase, ao contrário das anteriores, uma análise independente para cada peça. A decisão sobre os parâmetros de vulcanização a adotar para cada caso, serão sustentados pelos gráficos de barras da evolução do grau de rigidez da borracha, com o aumento de temperatura, e com o grau de variabilidade das amostras ensaiadas.

6.4.1 Análise peça AP-1012

Numa primeira fase, realizando-se um ensaio preliminar a 150 °C, com vários tempos de vulcanização, obtiveram-se os resultados apresentados na figura 45, onde cada barra corresponde à média de três observações.

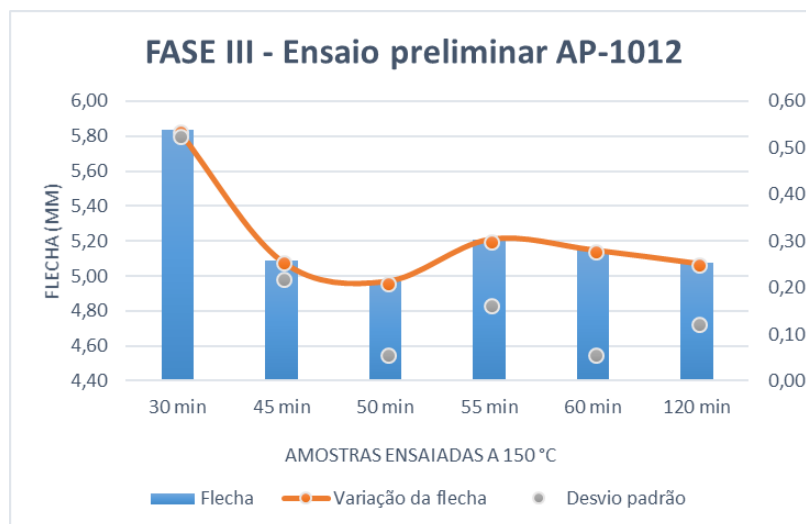


Figura 45 - Ensaio Preliminar AP-0112, Fase IV.

Na figura 45 constata-se que é no intervalo de tempo de vulcanização de 45-50 min que se atinge maior rigidez das peças, traduzindo-se numa menor flecha. Contudo, uma vez que não se pretende entrar num estado de vulcanização 100%, pretende-se terminar o processo de vulcanização da peça um pouco antes da vulcanização completa, pelo que o tempo ótimo de vulcanização encontrado será de 45 min, nestas condições de ensaio (150 °C).

Numa segunda fase de ensaios, com o intuito de estudar se a temperatura de 150 °C é a mais indicada, procedeu-se a novo ensaio, retirando novas amostras com diferentes tempos e temperaturas de vulcanização, conforme se observa na figura 46.

De referir que a organização dos dados foi diferente da fase de ensaios anterior, uma vez que cada barra representa o resultado obtido no ensaio de cada peça. O objetivo com esta representação prende-se com a observação do desvio registado entre as 3 peças vulcanizadas com os mesmos parâmetros, para uma análise futura das melhores condições de vulcanização.

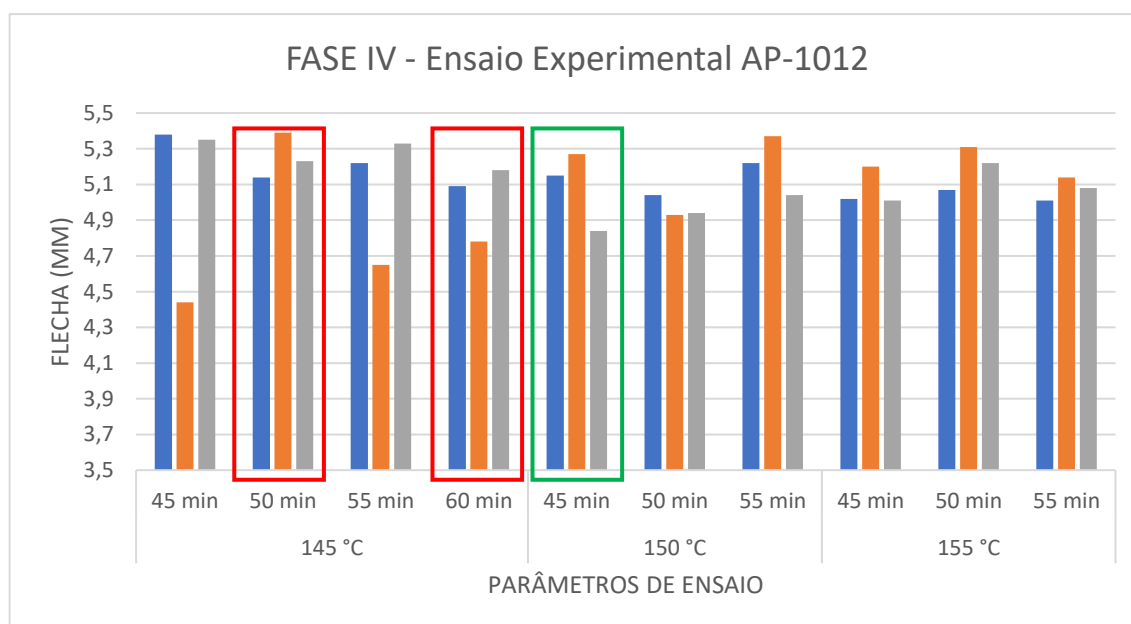


Figura 46 - Ensaio Experimental AP-1012, Fase IV.

Analisando o ensaio experimental acima, verifica-se que uma peça AP-1012 apresenta uma vulcanização total aos 50 min e 150 °C, contudo, procurando o momento em que a peça apresenta uma rigidez próxima da final, devem analisar-se os seguintes casos:

- Condição **a)** 145 °C & 50 min;
- Condição **b)** 145 °C & 60 min;
- Condição **c)** 150 °C & 45 min;

Da análise efetuada, as 3 condições são válidas obtendo-se resultados dentro dos intervalos de especificação, contudo será necessário optar apenas por uma das condições acima, desta forma, retiram-se as seguintes conclusões, após análise da figura 46:

Justificação: Comparando a condição **a)** e **b)** verifica-se que a **b)** apresenta resultados indicadores de uma maior rigidez nas peças, devido à menor flecha, pelo que se rejeita a condição **a)**. Analisando agora a condição **c)**, verifica-se um desvio entre resultados semelhante à condição **b)**, contudo, uma vez que o tempo de vulcanização é bastante inferior que o utilizado na condição **b)**, 60 para 45 minutos, opta-se pela condição **c)**, tendo em visto o ganho de produtividade.

Proposta de parâmetros para AP-1012:

Uma vez que não se verificam fenómenos de descolagem de peças ou de outras não conformidades para temperaturas superiores a (150 – 155) °C, sugerem-se os parâmetros de vulcanização da tabela 17.

Tabela 17 - Parâmetros de vulcanização propostos AP-1012, Fase IV.

Parâmetros FASE III			Parâmetros FASE IV			Variação
Temperatura Vulc.	145	°C	Temperatura Vulc.	150	°C	+ 5 °C
Tempo Vulc.	60	min	Tempo Vulc.	45	min	- 15 min

6.4.2 Análise peça AP-0112

Numa primeira fase, realizando-se um ensaio preliminar a 150 °C, com vários tempos de vulcanização, obtiveram-se os resultados apresentados na figura 47, onde cada barra corresponde à média de três observações.

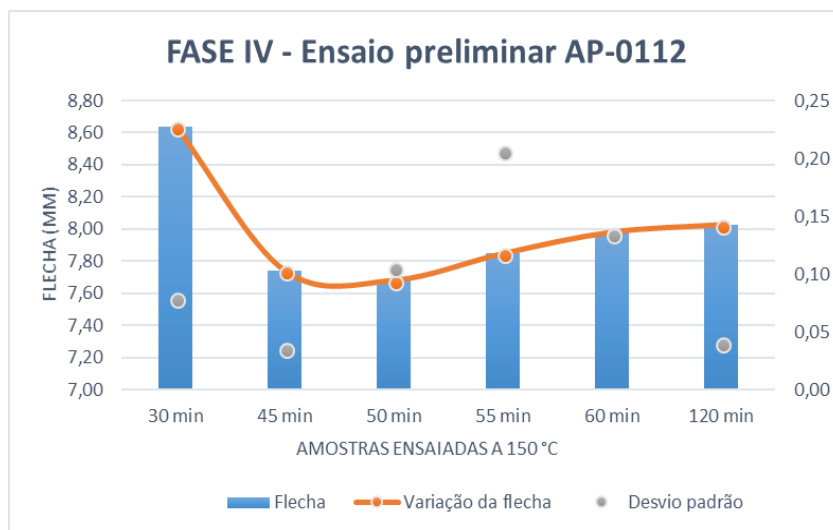


Figura 47 - Ensaio Preliminar AP-0112, Fase IV.

Na figura 47 constata-se que é no intervalo de tempo de vulcanização de 45-50 min que se atinge maior rigidez das peças, traduzindo-se uma menor flecha. Contudo, uma vez que não se pretende entrar num estado de vulcanização 100%, pretende-se terminar o processo de vulcanização da peça um pouco antes da vulcanização completa, pelo que o tempo ótimo de vulcanização encontrado será de 45 min, nestas condições de ensaio (150 °C).

Numa segunda fase de ensaios, com o intuito de estudar se a temperatura de 150 °C é a mais indicada, procedeu-se a novo ensaio, retirando novas amostras, a diferentes tempos e temperaturas de vulcanização, conforme se apresenta na figura 48, onde cada barra representa o resultado de cada peça ensaiada.

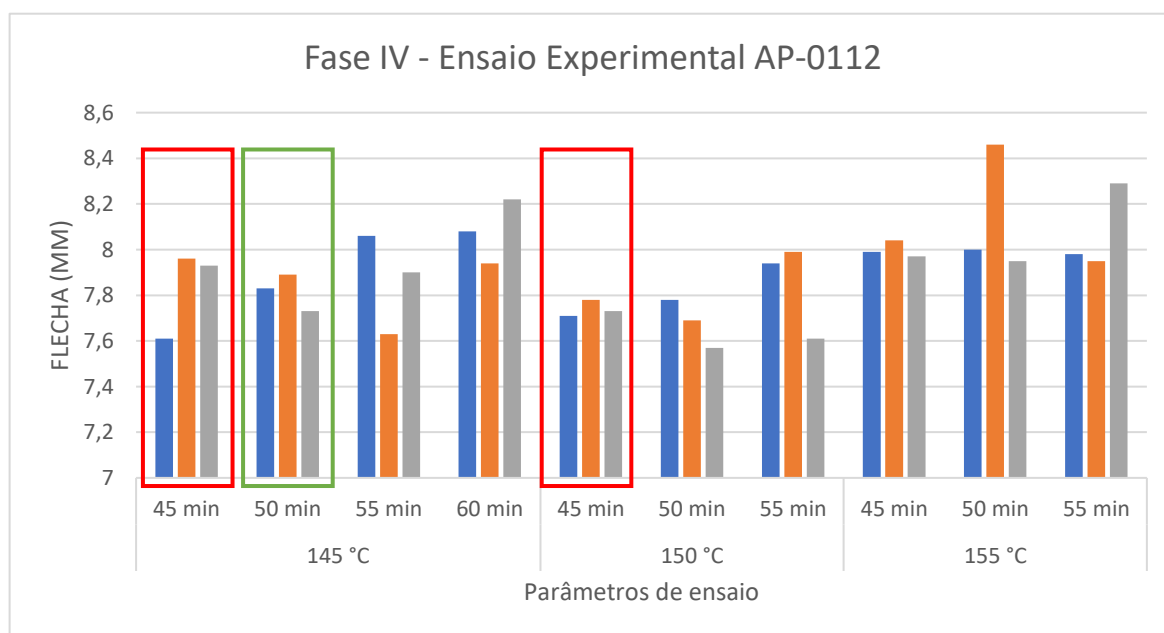


Figura 48 - Ensaio Experimental AP-0112, Fase IV.

Analisando o ensaio experimental acima, verifica-se que uma peça AP-0112 apresenta uma vulcanização ótima aos 50 min e 150 °C, contudo, procurando o momento em que a peça apresenta uma rigidez próxima da final, devem analisar-se os seguintes casos:

- Condição **a)** 145 °C & 45 min
- Condição **b)** 145 °C & 50 min
- Condição **c)** 150 °C & 45 min

Da análise efetuada, as 3 condições são válidas obtendo-se resultados dentro dos intervalos de especificação, contudo será necessário optar por uma das condições acima:

Justificação: Na condição **a)** os resultados apresentam o desvio maior comparativamente aos verificados nos últimos dois casos **b)** e **c)**, por esta razão, exclui-se a condição **a)**, face à variabilidade verificada. Quando às condições **b)** e **c)**, ambas apresentam uma variabilidade reduzida e muito semelhante, contudo, uma vez que se suspeita que a condição **c)** está muito próxima do tempo de vulcanização total, a condição **b)** será escolhida.

Proposta de parâmetros para AP-0112:

Uma vez feita a análise anterior, e verificando-se fenómenos de descolagem de peças ou de outras não conformidades para temperaturas superiores a (150 – 155) °C, sugerem-se os parâmetros de vulcanização da tabela 18.

Tabela 18 - Parâmetros de vulcanização propostos AP-0112, Fase IV.

Parâmetros FASE III			Parâmetros FASE IV			Variação
Temperatura Vulc.	145	°C	Temperatura Vulc.	145	°C	0
Tempo Vulc.	60	min	Tempo Vulc.	50	min	- 10 min

6.4.3 Análise peça AP-2213

Numa primeira fase, realizando-se um ensaio preliminar a 150°C, com vários tempos de vulcanização, obtiveram-se os resultados apresentados na figura 49, onde cada barra corresponde à média de 3 observações.

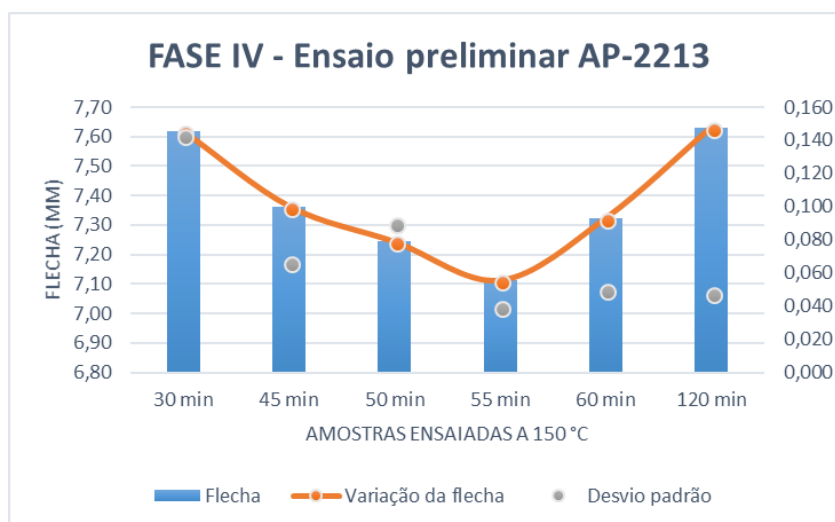


Figura 49 - Ensaio preliminar AP-2213, Fase IV.

Da figura 49 constata-se que é no tempo de vulcanização de 55 min que se atinge maior rigidez das peças, traduzindo-se uma menor flecha. Contudo, uma vez que não se pretende entrar num estado de vulcanização 100%, pretende-se parar o processo de vulcanização da peça um pouco antes, pelo que o tempo ótimo de vulcanização encontrado será de 50 min, nestas condições de ensaio (150°C).

Numa segunda fase, com o intuito de estudar se a temperatura de 150 °C é a mais indicada, procedeu-se a novo ensaio, retirando 3 peças a diferentes tempos e temperaturas de vulcanização, figura 50, onde cada barra representa o resultado de cada peça ensaiada.

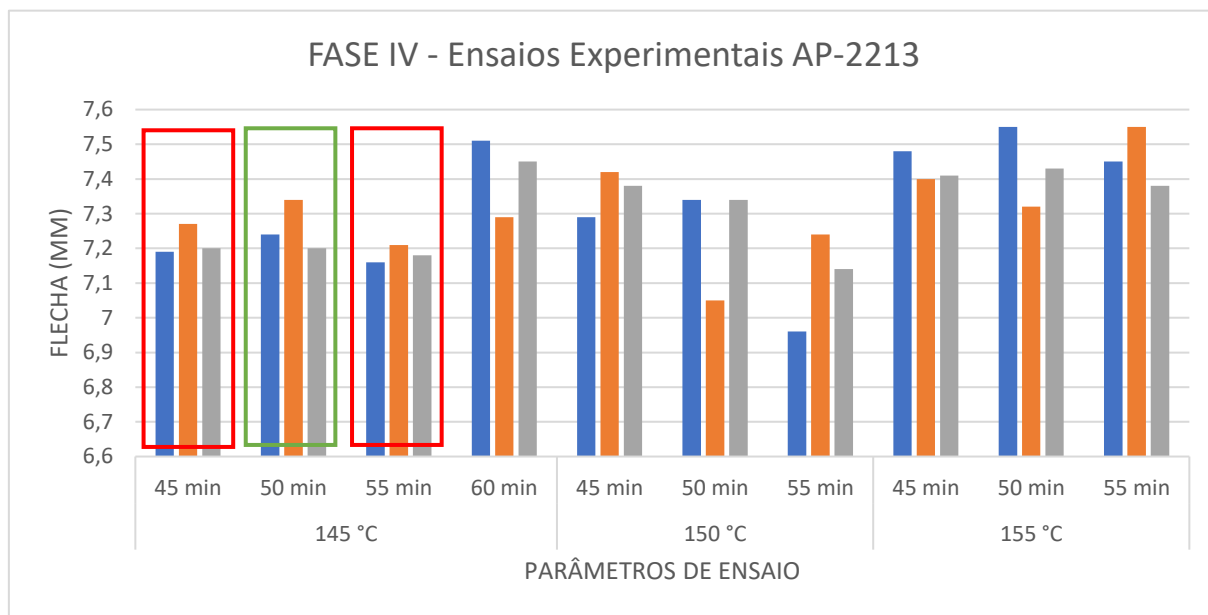


Figura 50 - Ensaio Experimental AP-2213, Fase IV.

Após a análise do ensaio experimental do AP-2213, verifica-se que existe uma maior rigidez das peças para os parâmetros: 150 °C e 55 min, contudo, uma vez que os desvios-padrão constatado entre peças é elevado para a temperatura de 150°C, juntamente com uma não conformidade originada pelas elevadas temperaturas, implementou-se uma temperatura inferior de 145 °C. Tem-se, por isso, os seguintes casos a analisar:

- Condição **a)** 145 °C & 45 min
- Condição **b)** 145 °C & 50 min
- Condição **c)** 145 °C & 55 min

Justificação: Da análise efetuada, todas as condições apresentam resultados dentro dos intervalos de especificação, e com uma variabilidade reduzida, contudo, uma vez que se verificaram resultados inconsistentes para peças vulcanizadas com um tempo de 45 min a 145°C, verificados na FASE II, deverá excluir-se a condição **a)**. Para as duas condições restantes, **b)** e **c)**, os resultados obtidos são muito semelhantes, pelo que se deverá implementar a condição **b)**, uma vez que se traduz em maior produtividade no processo, pois o processo é menos demorado.

Proposta de parâmetros para AP-2213:

Uma vez feita a análise anterior, e verificando-se fenómenos de descolagem de peças ou de outras não conformidades para temperaturas superiores a (150 – 155) °C, sugerem-se os parâmetros de vulcanização da tabela 19.

Tabela 19 - Parâmetros de vulcanização propostos AP-2213, Fase IV.

Parâmetros FASE III			Parâmetros FASE IV			Variação
Temperatura Vulc.	145	°C	Temperatura Vulc.	145	°C	0
Tempo Vulc.	60	min	Tempo Vulc.	50	min	- 10 min

6.5 Análise à produtividade esperada

Analizando agora o aumento de produtividade, com as alterações sugeridas acima para cada peça em análise, e tendo em conta as condições reais de produção, realizou-se um estudo do impacto da Fase IV, no aumento de produtividade do processo.

De referir que apenas se teve em consideração o parâmetro: tempo de vulcanização, uma vez que apenas este parâmetro influencia o cálculo da produtividade esperada.

Na tabela 20 tem-se um resumo das alterações propostas para o tempo de vulcanização, para as três peças em análise.

Tabela 20 - Resumo dos parâmetros de processo de fabrico FASE III e Fase IV.

Identificação da peça	Parâmetros FASE III			Alteração proposta: FASE IV		
AP-1012	Tempo de Vulcanização	60	min	Tempo de Vulcanização	45	min
AP-0112		60			50	
AP-2213		60			50	

Tendo por base a alteração anterior no tempo de vulcanização, face às condições de produção de peças no setor *Vulcanização*, espera-se que num turno normal de 8h exista a fabricação das peças apresentadas na tabela 21.

Tabela 21 - Análise da evolução da produtividade com as alterações propostas na FASE IV.

	AP-1012	AP-0112	AP-2213
Produção FASE III	8 peças / turno	8 peças / turno	8 peças / turno
Produção FASE IV	10 peças / turno	9 peças / turno	9 peças / turno
Evolução da Produtividade	25 %	13 %	13 %

6.6 Discussão dos resultados

Como se pode evidenciar no sub-capítulo anterior, os parâmetros de vulcanização: tempo e temperatura, são determinantes para o sucesso da vulcanização, e para a qualidade no processo de fabrico.

Dadas as diferentes configurações de apoios amortecedores verifica-se que o melhor compromisso entre tempo-temperatura é distinto entre as peças estudadas. Pelo que, a imposição original de adotar igual tempo e temperatura de vulcanização nos apoios amortecedores é meramente simplista, no sentido em que cada peça é única, quer pelos materiais que constituem a peça, quer pela configuração da peça e do molde, o que influencia os coeficientes de transferência de calor, traduzindo-se em parâmetros de vulcanização diferentes.

Conforme comprovado experimentalmente, a utilização de temperaturas acima de 140°C permite maior grau de reticulação que se traduz em maior rigidez da peça e por isso menor flecha. Por exemplo, no caso da peça AP-2213 verifica-se que a uma temperatura de 150 °C a rigidez da peça é maior comparativamente a uma peça igual vulcanizada a 145 °C, e, mesmo que o tempo de vulcanização seja prolongado, o grau de reticulação da borracha será sempre superior para a temperatura de 150°C face à utilização de temperaturas mais baixas, o que vai de encontro com outros ensaios experimentais estudados [23].

Apesar do aumento de temperatura se traduzir numa maior rigidez, e por isso, maior módulo de compressão, permitindo posteriormente diminuir o tempo de vulcanização, é importante frisar que, para a borracha natural usada, a utilização de temperaturas superiores a 150°C traz consigo problemas de qualidade, quer na degradação das características químicas e físicas, quer ao nível do processo, mais concretamente descolamento borracha-metal, ao levar a uma pré-vulcanização da cola aplicada sobre as partes metálicas.

No mesmo estudo [23] refere-se igualmente que o prolongamento do tempo de vulcanização para lá do tempo ótimo (t'_{90}) se traduz numa degradação da borracha, pelo que, analisando os ensaios experimentais realizados, os resultados obtidos validam igualmente o enunciado anterior. Ou seja, o objetivo dos responsáveis pelo processo passa por encontrar o tempo ótimo de vulcanização, mais concretamente o momento a partir do qual se atinge 90% do grau de vulcanização, pois, uma vez atingidos os 100%, a fase seguinte é a degradação da borracha, também conhecido por fenómeno de regressão, com a consequente perda da rigidez, causada pela destruição das cadeias de enxofre que se estabelecem aquando da vulcanização.

Em suma, existem dois métodos para um aumento da rigidez da peça, no primeiro método deverá corrigir-se a formulação química do composto de borracha, com o objetivo de aumentar a dureza, e, por conseguinte, a rigidez. No segundo método, deverão otimizar-se as condições de vulcanização para que exista a melhor reticulação possível na estrutura molecular do composto, desta forma, aumentando a densidade de reticulação, aumenta-se a rigidez.

De notar que o aumento de rigidez pelo segundo processo requer ensaios experimentais para que se encontre o ponto ótimo de vulcanização, uma vez que, ultrapassado o ponto ótimo, o resultado será uma perda progressiva das propriedades físicas do composto.

7 Conclusões

O projeto desenvolvido permitiu o acompanhamento da atividade produtiva da empresa, originando um contacto próximo com os responsáveis pelas atividades do processo de fabrico e planeamento da produção, bem como com os responsáveis na área da qualidade, logística, comercial, manutenção, compras, e administração, destacando-se a complexidade na gestão de todos os intervenientes no processo.

O trabalho teve como objetivo principal a redução de peças NC no fabrico de apoios amortecedores, propondo procedimentos e/ou alterações no processo de fabrico das peças.

Os resultados obtidos neste trabalho devem-se sobretudo à metodologia utilizada. Esta consistiu no estudo prévio do processo e dos parâmetros chave do mesmo, seguindo-se uma análise do estado de qualidade do processo de fabrico dos apoios amortecedores.

O trabalho permitiu a aquisição de conhecimentos técnicos em torno da indústria da borracha, devendo-se sobretudo aos ensaios experimentais de apoios amortecedores e na procura de respostas para os defeitos e causas de variabilidade verificados. É de realçar igualmente a componente formativa que este projeto desempenhou, no conhecimento do processo de fabrico de peças moldadas por compressão.

Relativamente às metodologias e ferramentas implementadas:

Na elaboração dos documentos técnicos de fabrico de partes metálicas, constatou-se uma melhoria do planeamento de produção no setor *Serralharia*, promovendo igualmente a troca de informação entre a equipa de trabalho do setor, para a construção deste documento, e para a manutenção do *know-how* do processo na estrutura da empresa.

Relativamente à implementação do "*Mapa de Localização de PM na Estante*", na: *Serralharia*, é de referir uma receção pouco calorosa, demonstrada inicialmente pela equipa de trabalho, contudo, posteriormente revelou ter sido uma ideia útil na otimização do tempo de arrumação, e na diminuição do tempo de procura de partes metálicas em stock.

Este projeto serviu também para realçar a importância do envolvimento de todos os intervenientes afetos às operações em análise, na tomada de decisões, quer na situação de reorganização de partes metálicas, quer na alteração de procedimentos de controlo de qualidade. De notar que a ideia ou projeto proposto deverá ser entendido por todos os intervenientes, para que seja melhor discutido, melhorado e facilmente incorporado na estrutura organizacional da empresa.

Relativamente à realização dos ensaios experimentais, constata-se melhorias significativas da qualidade, com a alteração dos parâmetros de vulcanização: tempo e temperatura de vulcanização. Os ensaios aqui apresentados permitem uma análise futura semelhante, para outras peças produzidas na empresa, quer para aumento de qualidade quer para um aumento de produtividade.

De acordo com os objetivos propostos inicialmente, houve uma melhoria de qualidade em todas as peças analisadas. De destacar a peça AP-0112 que apresentou 0 unidades NC na FASE III de ensaios, por outro lado, acredita-se que é possível melhorar ainda mais a qualidade das peças AP-1012, apesar de um decréscimo positivo da percentagem de peças NC de 30% para 10%.

Acredita-se que as alterações propostas na FASE IV permitirão um aumento de produtividade global no processo de fabrico em estudo, correspondendo a um aumento de produtividade de 25% para a peça AP-1012, e a um aumento de produtividade de 13% para as peças: AP-0112 e AP-2213.

Face aos objetivos principais do trabalho, é possível afirmar que o projeto foi um sucesso.

7.1 Trabalhos Futuros

- Implementação de planeamento de produção, na fabricação de peças moldadas;

Atualmente, a empresa dispõe de um ERP para controlo logístico e contabilístico, mas este encontra-se subaproveitado, levando o responsável de produção a atribuir cada nota de encomenda/OF diretamente no posto, de forma manual e independente. Esta atribuição não tem em conta a capacidade do posto, o que leva consequentemente à ineficaz gestão de recursos humanos e máquinas.

Assim, tendo em vista uma otimização de recursos humanos e máquinas, uma melhoria da cadeia logística e de um aumento de produtividade por posto, sugere-se um estudo prévio para determinação da capacidade de cada posto, para uma futura implementação de um planeamento de produção com recurso ao ERP.

Este ponto reveste-se de alguma complexidade uma vez que cada OF requer parâmetros de vulcanização específicos, as encomendas apresentam um volume muito variável, entre uma a mais de 10.000 unidades ano, os tempos de ciclo da maioria das peças a fabricar são desconhecidos e semanalmente a empresa recebe entre 5 a 10 novas peças para fabricar, o que implica um período de testes para industrialização da peça no sistema de fabrico da empresa, para uma equipa técnica já muito ocupada.

Uma vez solucionados os problemas atrás enunciados, o resultado seria de grande interesse para uma empresa competitiva, quer na diminuição do prazo de entrega, quer no aumento de produtividade, que se traduziria num aumento de rentabilidade das peças.

- Estudo experimental do prazo de validade de uma remessa de borracha

Durante a elaboração do ensaio experimental foram apontados vários fatores de variabilidade no processo de vulcanização das peças. Um dos fatores incidia sobre a qualidade da remessa de borracha, armazenada por longos períodos.

Assim, sugere-se o estudo da variável: tempo de armazenamento da remessa de borracha, com intuito de verificar se a remessa apresenta alteração das suas propriedades físicas e químicas, quando armazenada por longos períodos, isto é, períodos superiores a 30 dias.

- Melhoria de produtividade no processo de acabamento de peças moldadas

Constata-se uma grande acumulação de peças em curso de fabrico no setor *Acabamento*, representando as peças em borracha a maior percentagem de peças nesta fase do processo, face às peças em borracha-metal. Estes dois tipos de peças fazem parte do grupo: *Peças Moldadas*, que representam cerca de 80% do volume de faturação da empresa.

Com base na informação acima, sugere-se um estudo de implementação do processo de rebarbagem criogénica, no processo de acabamento de peças em borracha, de uma forma semelhante ao realizado na fábrica da CTB – Componentes Técnicos de Borracha, sediada em Matosinhos [44].

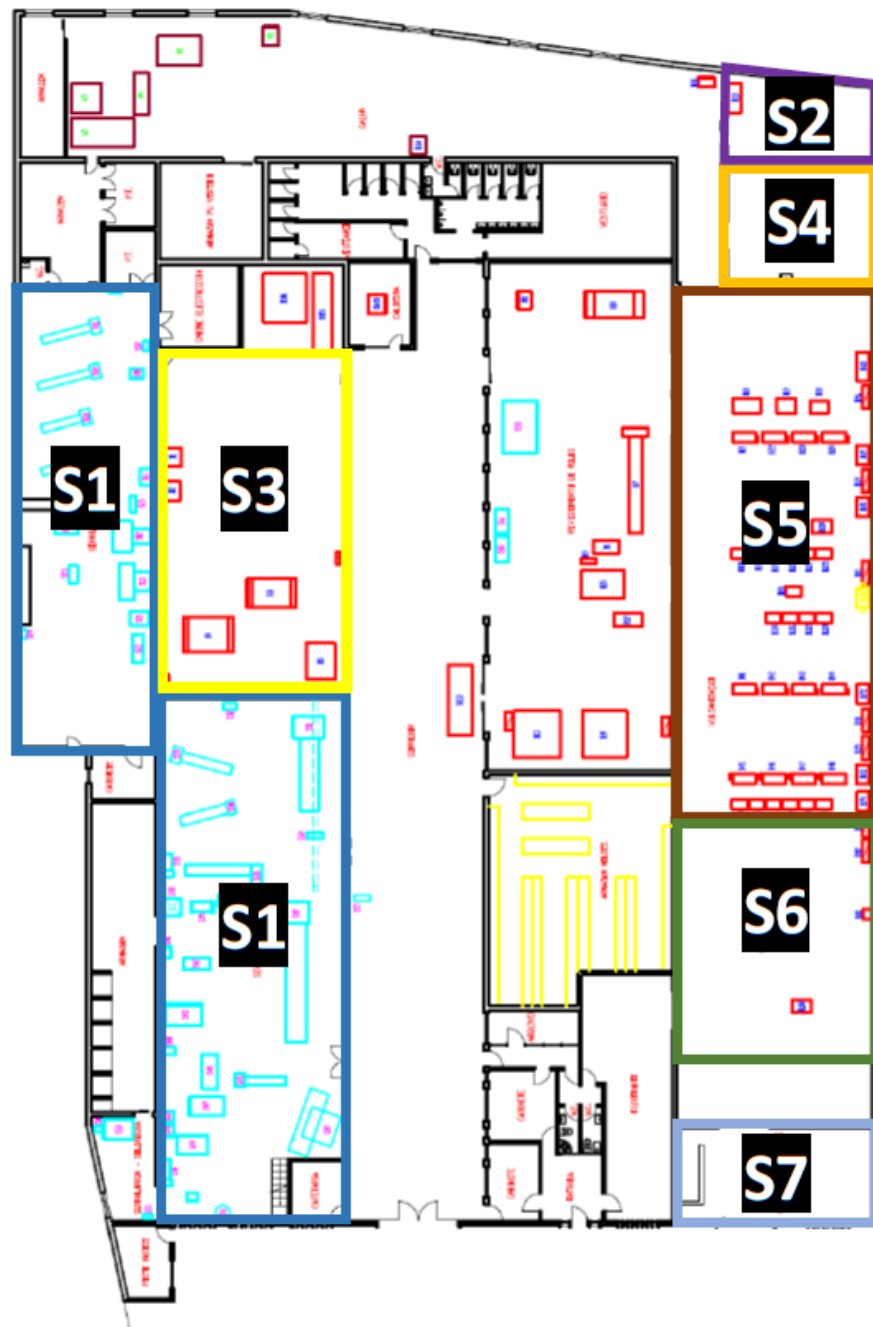
Referências

- [1] A. Ali Shah, F. Hasan, Z. Shah, N. Kanwal, e S. Zeb, «Biodegradation of natural and synthetic rubbers: A review», *Int. Biodeterior. Biodegradation*, vol. 83, pp. 145–157, Set. 2013.
- [2] D. D. Chiarelli, L. Rosa, M. C. Rulli, e P. D’Odorico, «The water-land-food nexus of natural rubber production», *J. Clean. Prod.*, vol. 172, pp. 1739–1747, Jan. 2018.
- [3] S. Arunwarakorn, K. Suthiwartnarueput, e P. Pornchaiwiseskul, «Forecasting equilibrium quantity and price on the world natural rubber market», *Kasetsart J. Soc. Sci.*, Set. 2017.
- [4] E. Warren-Thomas, P. M. Dolman, e D. P. Edwards, «Increasing Demand for Natural Rubber Necessitates a Robust Sustainability Initiative to Mitigate Impacts on Tropical Biodiversity», *Conserv. Lett.*, vol. 8, n. 4, pp. 230–241, Jul. 2015.
- [5] P. Carreira, «Informação sobre o setor da borracha», *APIB - Associação Portuguesa Industriais de Borracha*, 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://www.apib.pt/>. [Acedido: 03-Abr-2018].
- [6] J. F. Camacho, «Caraterização das Empresas Portuguesas do Setor Exportador: Moldes», *5ª Conferência da Cent. Balanços - Banco Port.*, p. 5, 2014.
- [7] Teresa Cristina e Ribeiro, «Diagnóstico Energético e proposta de melhorias numa unidade de Produção de Peças de Borracha», Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2012.
- [8] «Flexocol - Fábrica de Artefactos de Borracha, Lda». [Em linha]. Disponível em: <http://flexocol.pt/>. [Acedido: 07-Abr-2018].
- [9] A. Mark Saunders, Philip Lewis, Thornhill, *Research Methods for Business Students*. Harlow - UK: Prentice Hall, 2007.
- [10] J. Royo, *Manual de Tecnología del Caucho*. Barcelona: Consorcio Nacional de Industriales del Caucho, 1989.
- [11] A. Ciesielski, *An Introduction to Rubber Technology*. Londres: Smithers Rapra Publishing, 1999.
- [12] H. J. Stern, *Rubber: Natural and Synthetic*. Norwich: Page Bros Ltd., 1967.
- [13] E. A. Browne, *Peeps at Industries Rubber*. Charleston, South Carolina: BiblioLife, 2009.
- [14] J. Le Bras, *Le Caoutchouc*. Paris: Presses Universitaires de France, 1969.
- [15] M. J. . Caetano, «Ciência e Tecnologia da Borracha». [Em linha]. Disponível em: www.ctborracha.com. [Acedido: 28-Mar-2018].
- [16] C. M. B. and C. Hepburn, *Rubber technology and manufacture*. Geat Britain: Elsevier Science & Technology Books, 1982.
- [17] G. S. WHITBY, *Synthetic rubber*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1954.
- [18] E. Kalkornsurapranee, W. Yung-Aoon, L. Songtipya, e J. Johns, «Effect of processing parameters on the vulcanisation of natural rubber using glutaraldehyde», *Plast. Rubber Compos.*, vol. 46, n. 6, pp. 258–265, Jul. 2017.
- [19] M. M. Gomes, «Rubberpedia - Portal da Indústria da Borracha». [Em linha]. Disponível em: <http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha.php>. [Acedido: 03-Abr-2018].
- [20] S. Concept, «Vulcanized rubber for a better quality». [Em linha]. Disponível em:

- <http://www.sinoconcept.com>. [Acedido: 03-Abr-2018].
- [21] A. Souid, A. Sarda, R. Deterre, e E. Leroy, «Rheological characterization and modelling of the rubber to metal vulcanization-bonding process», *Polym. Test.*, vol. 36, pp. 88–94, Jun. 2014.
 - [22] A. Souid, A. Sarda, R. Deterre, e E. Leroy, «Influence of reversion on adhesion in the rubber-to-metal vulcanization-bonding process», *Polym. Test.*, vol. 41, pp. 157–162, Fev. 2015.
 - [23] E. E. Ehabe e S. A. Farid, «Chemical kinetics of vulcanisation and compression set», *Eur. Polym. J.*, vol. 37, n. 2, pp. 329–334, Fev. 2001.
 - [24] E. G. Pinheiro, «Modelos Numéricos Aplicados à Vulcanização de Pneus», Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
 - [25] R. B. Simpson, *Rubber Basics*. Ohio, US: iSmithers Rapra, 2002.
 - [26] V. Escócio, L. Cunha, e R. Souza, «Novas Tecnologias de Borracha», Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
 - [27] «Gibitre Instruments - Laboratory instruments for rubber and plastic testing». [Em linha]. Disponível em: http://www.gibitre.it/page_sin.php?ProdottoN=RheoMd. [Acedido: 02-Jun-2018].
 - [28] A. Rita e R. Rodrigues, «Caracterização reológica de materiais por Rubber Process Analyzer», Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2015.
 - [29] «Vulcanização - Wikiwand». [Em linha]. Disponível em: <http://www.wikiwand.com/pt/Vulcanização>. [Acedido: 18-Abr-2018].
 - [30] «What is Durometer and Why is It Important? | Urethane Innovators». [Em linha]. Disponível em: <https://urethaneusa.com/resources/what-is-durometer/>. [Acedido: 30-Abr-2018].
 - [31] «Procedimentos gerais de preparação e condicionamento de provetes para métodos de ensaios físicos ISO 23529:2012». .
 - [32] «Borracha vulcanizada — Determinação de deformações em compressão ISO 7743:2017». .
 - [33] «Natural Rubber | Tipos de polímeros - Resinex». [Em linha]. Disponível em: <http://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/natural-rubber.html>. [Acedido: 25-Abr-2018].
 - [34] «Rubber and Elastomers -Tecno Ad materials». [Em linha]. Disponível em: <https://www.technoad.com/engineering/materials/>. [Acedido: 16-Abr-2018].
 - [35] «Rubber and its Types | Chemistry Learning». [Em linha]. Disponível em: <http://www.chemistrylearning.com/rubber/>. [Acedido: 25-Abr-2018].
 - [36] Granta Ces Edupack, «Elastomers - Natural Rubber». Granta Design, 2018.
 - [37] «Mercedes-Benz R107 Engine Mount Replacement | 1972-1986 - 450SL, 380SL, 500SL, 560SL | Pelican Parts DIY Maintenance Article». [Em linha]. Disponível em: https://www.pelicanparts.com/techarticles/Mercedes-R107/132-ENGINE-Replacing_Engine_Mounts/132-ENGINE-Replacing_Engine_Mounts.htm. [Acedido: 20-Abr-2018].
 - [38] «Buyer's guide: The W 108 models from Mercedes-Benz. - Mercedes-Benz». [Em linha]. Disponível em: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/lifestyle/mercedes-benz-magazines/classic-magazine/buyers-guide-the-w108-models/>. [Acedido: 14-Abr-2018].

- [39] «RM Sotheby's». [Em linha]. Disponível em: <https://www.rmsothebys.com/>. [Acedido: 14-Abr-2018].
- [40] L. Corporation, «LORD TECHNICAL DATA - Chemosil® 211 Primer and/or Bonding Agent», 2018.
- [41] L. Corporation, «LORD TECHNICAL DATA - Chemosil® 225 Elastomer Bonding Agent», 2018.
- [42] «Home - Tube Polishing, Deburring and Edge rounding machines | NS Máquinas». [Em linha]. Disponível em: <http://nsmaquinas.pt/pt/>. [Acedido: 10-Jun-2018].
- [43] «FLADDER 150/MICRO | Manual machines | FLADDER 150/MICRO from Webshop». [Em linha]. Disponível em: http://www.fladder.dk/english/index.php?option=com_redshop&view=product&pid=18&cid=20&Itemid=121. [Acedido: 29-Mai-2018].
- [44] Maria Teresa Marques Monteiro, «Planeamento de um Sistema de Gestão Ambiental Segundo a Norma ISO 14001:2004 / Caso de estudo da Monteiro, Ribas – Indústrias S.A., Unidade de Componentes Técnicos de Borracha.», Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

ANEXO A: Layout da Flexocol



















Designação dos setores da fábrica			
S1	Serralharia	S5	Vulcanização
S2	Pesagem	S6	Acabamento
S3	Mistura	S7	Armazém de expedição
S4	Sala de ensaios		

ANEXO B: Ordem de Fabrico - OF Flexocol


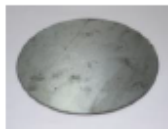




Flexocol	Ordem de Fabrico		ICL-07/00				
Nº Ordem Fabrico	Doc. Origem		Data início	Data Entrega			
FLX-OF18-02708	SON-FLX1810/01266		06/06/2018	06/06/2018			
Nº Entidade	Nome Entidade						
051846							
Código artigo	Descrição Artigo						
FXAM09311AP0977	Revestimento poliuretano calcador c/Ø37 mm, M-9311						
Quantidade Fabrico			Dimensões				
Dados Técnicos							
Molde	FXM09311	Ref. Anterior		Nº Moldes	1,00	Nº cavidades	1,00
Liga	PO - PU	Dureza (°ShA)	97	Cor	7 - AZUL		
Parâmetros de Vulcanização							
Temperatura (°C)	130						
Tempo Vulcanização (min)	30						
Peso Provete (g)	1,00						
Peso Peça (g)	0,00						
Desmoldante	Levaform SIV						
Observações Gerais da OF							
96/98 ShA							

ANEXO C: Mapa de localização de PM em estante - Serralharia







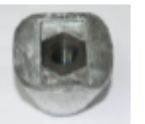
Flexocol																Localização Partes Metálicas																Setor:		Serralharia		Estante: A		Data: 10/05/2018																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
P	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
																Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Apelo Antigo	Ap

ANEXO D: Documentos técnicos de fabrico - Serralharia


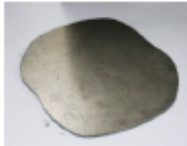



D1 Documento técnico de fabrico AP-1012

Flexocol		FICHA DE PRODUÇÃO PARTES METÁLICAS		Data: 10/04/2018			
Identificação do Artigo							
Designação	Gummlager 180 223 10 12		Número na Peça	180 223 10 12			
Desenho nº			Nomenclatura				
Código Artigo	FXAM08207AN2652		Cliente	Roland Merz			
Molde	8207		Ilustração				
Liga	Flex CK3						
Dureza (°ShA)	59 ± 1°						
Operações							
Produção de Partes Metálicas							
Identificação da Parte / M. Prima	Nº	Operação	Tempo (seg)	Ferramentas	Máquina	Cotas e/ou Ilustração	
RM 02 00 00 Art: 4008000025 [C]	10	Corte de Chapa	10		Guilhotina	l = 183 mm e = 175 mm / A B h = 26 mm e (furo) = 8,8 mm C	
	20	Corte	30	Cortante e 175	Balanço C: 43		
	30	Estampagem	20	Estampador nº8072 1º	Prensa de fricção		
	40	Corte de topo	25		Torno		
	50	Abertura interior (abas meia lua)	35	Estampador nº8072 2º	Prensa vertical		
	60	Corte Exterior	20	Cortante nº8072 A	Balanço C: 65		
	70	Desengorduramento	25		Tina		
	80	Acabamento na superfície	130	Lima e Lixa	Torno		
	90	Furação	20	Cortante nº8072 B	Balanço C: 65		
	100	Escarear furo	30		Furador		
RM 02 20 00 Art: 5103000800 [D]	110	Corte em frações	20		Torno	h = 23,5mm D	
	120	Maquinagem/Corte	30		Torno		
	130	Acabamento de arestas	75	Lima e Lixa			
	140	Abertura de interior (forma cônica)	60	Estampador nº8072 3º	Prensa		
RM 02 02 00 Art: 5300000830 [E]	150	Parte Metálica Subcontratada				E	
[C] / [D] / [E]	160	Decapagem de Superfícies e Limpeza	140		Máq. Decapagem por projeção		
	170	Vulcanização				OF/ Ficha de controlo de parâmetros de vulcanização	
	180	Acabamento					
Operação Nº	Observações		Ensaio				
1,2,3,4,5,8, 9	Tempo de: [Set-UP ferramenta] diluído por um lote de 150 peças.		Dimensional		H total de 58 (- 1) mm		
			Mecânico		Carga vertical de 120 Kg, para uma flecha de 5,5 (+1) mm		
Ilustrações							
 A		 B		 C		 D	
				 E			
Informações							
Consumo (g) 4008000025	Consumo (mm) 5103000800	Consumo (UN) 5300000830		Tempo Total de Produção (1 peça - 3 partes)	670 11,2	segundos minutos	
700	26	1					

D2 Documento técnico de fabrico AP-0112

Flexocol		FICHA DE PRODUÇÃO PARTES METÁLICAS		Data: 08/05/2018		
Identificação do Artigo						
Designação	Motorlager 615 223 01 12		Marcação na peça	615 223 01 12		
Desenho nº			Nomenclatura			
Código Artigo	FXAM09557 AN2532		Cliente	Roland Merz		
Molde	9557		Ilustração			
Liga	Flex CK3					
Dureza (*ShA)	55 ± 2°					
Operações						
Produção de Partes Metálicas						
Identificação da Parte / M. Prima	Nº	Operação	Tempo (seg)	Ferramentas	Máquina	Cotas e/ou Ilustração
RM 24 00 00 Art: 4006000025 [D]	10	Corte	15		Guilhotina	L = 132 mm
	20	Corte forma exterior	20	Cortante nº9557 A	Balancé C: 20	A
	30	1ª Estampagem	35	Estampador nº 9557 1º	Prensa de Fricção	
	40	Corte Interior	15	Cortante Nº9557 B	Balancé C: 65	Ø 45 mm / B
	50	2ª Estampagem	35	Estampador nº 9557 2º	Prensa de Fricção	
	60	Maquinagem	90		Tomo	h = 38 mm
	70	3ª Estampagem	35	Estampador nº 9557 3º	Prensa de Fricção	C
	80	4ª Estampagem	35	Estampador nº 9557 4º	Prensa de Fricção	
	90	Maquinagem	60		Tomo	h = 37,5 mm
	100	Corte forma exterior	25	Cortante nº9557 C	Balancé C: 43	Ø 8 mm
	110	Furação	20	Furador nº9557	Balancé C: 65	
	120	Desengordurar superfícies	15			
	130	Acabamento de superfícies	90	Lima		
	140	Escarear furos	20		Furador	
	150	5ª Estampagem	35	Estampador nº 9557 5º	Prensa Vertical	
	160	Maquinagem	120		Tomo	h = 32,5 mm
	170	Acabamento final de superfícies	150	Lima e Lixa		D
RM 24 10 00 Art: 5300001650 [E]	180	Parte Metálica Subcontratada				E
RM 24 01 00 Art: 3600000010 [F]	190	Fundição em coquilha	120	Coquilha nº 9557	Foja	
	200	Corte de Gito	120		Serra Mecânica	
	210	Acabamento de superfície	180	Grosa		
	220	Escarear	30		Furador	
	230	Passar o macho	30	Macho M12		F
[D]	240	Decapagem de superfícies	90		Máq. decapagem por projeção	
	250	Vulcanização OFI Ficha de controlo de parâmetros de vulcanização				
	260	Acabamento				
Operação Nº	Observações		Ensaio			
2,3,4,5,7, 8,10,11,15	Tempo [Set-Up de ferramenta] diluído por lote de 150 peças		Dimensional	Altura total (H) = 55,5 mm		
			Mecânico	Carga de 100 kgf para uma flecha de 9 ± 1,4 mm		
Ilustrações						
A	B	C	D	E	F	
						
Informações						
Consumo (g) 4006000025	Consumo (UN) Art: 5300001650	Consumo (g) 3600000010		Tempo Total de Produção (1 peça)	1385	segundos
420	1	130			23,1	minutos

D3 Documento técnico de fabrico AP-2213

Flexocol		FICHA DE PRODUÇÃO PARTES METÁLICAS		Data: 10/05/2018		
Identificação do Artigo						
Designação	Motorlager 107 241 22 13		Número na Peça	107 241 22 13		
Desenho nº			Nomenclatura			
Código Artigo	FXAM09492CN2512		Cliente	Roland Merz		
Molde	9492		Ilustração 			
Liga	Flex CK3					
Dureza (°ShA)	50/52					
Operações						
Produção de Partes Metálicas						
Identificação da Parte / M. Prima	Nº	Operação	Tempo (seg)	Ferramentas	Máquina	Cotas e/ou Ilustração
RM 03 00 00 Art: 4006000030 [B]	10	Corte de chapa em tiras	10		Guilhotina	L = 150 mm
	20	Preparação & Corte	15	Cortante nº1332	Balancé C: 20	A
	30	Preparação e Estampagem	30	Estampador nº 1332	Prensa de fricção	
	40	Preparação & Corte interior e furos	20	Cortante nº1332 (2°)	Balancé C: 43	B
	50	Desengorduramento	20		Tina	
	60	Acabamento de chapa	300	Lima e Lixa		
	70	Escarear Furos	30		Furador	
RM 03 10 00 Art: 5300001600 [C]	80	Parte Metálica Subcontratada				C
RM 19 00 00 Art: 3600000010 [D]	90	Preparação & Fundição em coquilha	120		Forja	D
	100	Corte de Gito	60		Serra Mecânica	
	110	Maquinar	220		Fresa	
	120	Acabamento na superfície	150	Grossa e Lixa		
	130	Escarear furos	30	Lima		
	140	Acabamento final (borear arestas)	150	Lima	Furador	64 x 52 x 31 / 7
[B]	150	Decapagem de Superfície	90		Máq. Decapagem por projecção	
	160	Vulcanização				OF/ Ficha de controlo de parâmetros de vulcanização
	170	Acabamento				
	180	Limpeza de interior com borracha	90		Furador	
Operação Nº	Observações		Ensaio			
1,2,3,4	Tempo de: [Set-Up ferramenta] diluído por um lote de 200 peças.		Dimensional	H total de 47,5 (+7) mm		
			Mecânico	Carga de 125 kgf para um a flecha de 7 ± 1 mm		
Ilustrações						
 A		 B		 C		 D
Informações						
Consumo (g) 4006000030	Consumo (UN) 5300001600	Consumo (g) 3600000010		Tempo Total de Produção (1 peça - 3 partes)	1335	segundos
600	1	200			22,3	minutos